

БАЛАНС АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ РАЗЛИЧНЫХ СОРТОВ ЯЧМЕНЯ НА СКЛОНЕ

Н.Я. Шмырева, к.б.н., О.А. Соколов, д.б.н., А.А. Завалин, д.с.-х.н., В.А. Литвинский, ВНИИА
(по результатам исследований с N^{15})

Показано, что в условиях дерново-подзолистой среднесуглинистой почвы склона юго-восточной экспозиции более экологический баланс азота удобрений складывается при локальном способе внесения азотного удобрения под пивоваренный яровой ячмень сорта Раушан (по сравнению с сортом Новичок). Ячмень использовал 56% азота удобрения в приводораздельной части склона ($2-3^0$), 47 в средней части склона ($3-5^0$) и 39% в нижней части склона ($5-7^0$); закреплено 29;26 и 22% и терялось 15;27 и 39% соответственно.

Ключевые слова: сорт ячменя, водная эрозия почв, стабильный изотоп азота ^{15}N .

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 почв урожайность полевых культур на них, по сравнению с немтыми почвами, снижается на 10-60% и более [1].

По данным Жилко и др., [2] урожай зерна ячменя на среднесмытых почвах Белоруссии снижался по сравнению с немтытой почвой с 19,9 до 16,2 ц/га без применения удобрений и с 30,0 до 27,7 ц/га при применении $N_{90}P_{90}K_{90}$. На дерново-подзолистых почвах склонов со средним содержанием в пахотном слое подвижного фосфора и калия наибольшим урожаем ячменя, на уровне 30 ц/га, в почво защитном севообороте как при отвальной, так и плоскорезной обработках, обеспечивался при внесении $N_{60}P_{60}K_{60}$ [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 [1, 2, 4-8].

Цель исследований – с помощью меченых ^{15}N удобрений определить степень использования азота удобрения сортами ячменя в зависимости от элемента склона и способов внесения азотного удобрения.

Методика. В Смоленском НИИСХ в 2013 г. был заложен микрополевой опыт с сульфатом аммония, обогащенным меченым азотом (17,3 ат.%) в третьей ротации севооборота с применением азотных удобрений, меченых ^{15}N , с чередованием культур в севообороте: 1 – озимая рожь, 2 – овес, 3 – ячмень с подсевом многолетних травосмесей, 4 – травосмеси 1-го года использования; 5 – травосмеси 2-го года использования.

Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая на карбонатном моренном суглинке слабо- (приводораздельная часть склона $2-3^0$) и среднесмытая (средняя часть склона $3-5^0$ и нижняя часть склона $5-7^0$). Содержание физичекой глины 32-34%. Агрохимическая характеристика пахотных слоев этих почв: $pH_{\text{кол}}$ 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 – 0,09; 0,08; 0,07, 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 x 1,0 м) размещен на склоне ЮВ экспозиции. Длина склона 300 м, повторность 4-кратная, с ^{15}N -2-кратная. Азотное удобрение (Na) вносили в дозе 50 кг/га двумя способами: вразброс и локально на гл-

бину 10 см лентой. Защитные полосы между микроделянками 0,5 м. Обработка почвы – отвальная вспашка + рыхление подпахотного слоя на глубину 10-15 см вручную. Перед закладкой опыта проведено известкование из расчета полной нормы гидролитической кислотности. Норма высевы – 5млн всхожих зерен на 1 га. В почве и растительном материале общий азот определяли по методу Кьельдаля – Йодельбауэра. Изотопный анализ азота проводили на масс-спектрометре Delta – V. Другие аналитические показатели почвы и растений определяли в лабораториях ВНИИА по общепринятым методикам [9].

Результаты и их обсуждение. ГТК за вегетационный период составил 1,69 к среднему многолетнему 1,75. Температура воздуха и количество выпавших осадков при выращивании ячменя были выше в 1,1 раза по сравнению со среднемноголетней. Установлено, что в условиях дерново-подзолистой почвы (Смоленская обл.) потребление азота ячменем зависело от элемента склона [10]. Наибольшее количество азота удобрения ячмень использовал на приводораздельной части склона (30% применяемой дозы). На этой части склона ячмень потреблял и больше азота почвы.

Внесение сульфата аммония лентой на глубину 10 см обеспечивает постепенное и равномерное высвобождение из очага доступных растениям минеральных форм азота. При локальном внесении азотных удобрений в отличие от разбросного способа в почве сохраняется очаг повышенной концентрации минерального азота, который формируется за счет азота не только удобрений, но и почвы [5, 11-13].

Потребление азота различными сортами ячменя зависело от элемента склона и способа применения азотного удобрения (табл. 1). Больше азота удобрений потребляет пивоваренный сорт Раушан на всех элементах склона (по сравнению с зернофуражным сортом Новичок) за счет большего его накопления в зерне и соломе. Потребление азота обоими сортами снижалось от приводораздельной части склона к тальвегу. При этом, как на приводораздельной части, так и на других элементах склона, пивоваренный сорт Раушан потребляет азота удобрений в 1,1-1,3 раза больше, чем зернофуражный сорт Новичок. Азот почвы пивоваренный сорт Раушан потреблял больше только на приводораздельной части склона, а на других элементах рельефа большее количество потреблял зернофуражный сорт Новичок.

При локальном внесении азотного удобрения оба сорта потребляли больше азота на всех элементах склона. Однако при локализации азотных удобрений потребление азота удобрений у пивоваренного сорта Раушан повышалось в 1,3-1,5 раза, а у зернофуражного сорта Новичок – в 1,1-1,3 раза по сравнению с разбросным внесением. При этом потребление азота почвы обоими сортами повышалось в 1,3 – 1,8 раза.

Наибольший урожай зерна ячменя формировал пивоваренный сорт Раушан, а соломы – зернофуражный сорт Новичок на всех элементах склона. Урожай зерна сорта Раушан на фоне ($P_{50}K_{50}$) от приводораздельной части склона к тальвегу снижался в 1,6 раза, а сорта Новичок – в 1,7 раза (табл. 2). Примерно такая же закономерность сохраняется при внесении азотного удобрения.

При разбросном применении сульфата аммония в дозе 50 кг/га продуктивность обоих сортов повышалась в 2 раза на всех элементах склона по сравнению с фоновым вариантом. При локальном внесении азотного удобрения (в той же дозе) продуктивность обоих сортов на приводораздельной части

повышалась в 2,4 раза, тогда как в нижней части склона – в 2,6 раза. За счет локализации азотного удобрения продуктивность обоих сортов на приводораздельной части склона повышалась в 1,25 раза, тогда как в нижней части – в 1,3 раза у сорта Раушан и в 2,6 раза у сорта Новичок по сравнению с разбросным внесением.

Как на фоне, так и при внесении азотного удобрения зернофуражный сорт Новичок формировал биомассу соломы в 1,1 раза большую по сравнению с пивоваренным сортом Раушан на всех элементах склона (табл.5). Наибольшую биомассу соломы (355 г/м²) сорт Новичок формировал на приводораздельной части склона при локальном внесении азотного удобрения.

1. Потребление и использование азота удобрения и азота почвы ячменем в зависимости от элемента склона и способа внесения азотного удобрения

Вариант опыта	Общий вынос азота, г/м ²	В том числе N				«Экстра» – N		КИАУ, %
		удобрений		почвы		г/м ²	%	
		г/м ²	%	г/м ²	%			
Сорт Раушан								
Приводораздельная часть склона, 2-3 ⁰								
P ₅₀ K ₅₀ – Ф (фон)	3,35	-	-	3,35	100	-	-	-
Ф + N ₅₀ вразброс	7,44	1,88	25	5,56	75	2,21	30	38
Ф + ¹⁵ N ₅₀ локально	10,34	2,80	27	7,54	73	4,19	41	56
Средняя часть склона, 3-5 ⁰								
P ₅₀ K ₅₀ – Ф (фон)	2,42	-	-	2,42	100	-	-	-
Ф + N ₅₀	5,69	1,81	32	3,88	68	1,46	26	36

вразброс								
Ф + ¹⁵ N ₅₀ локально	8,04	2,37	29	5,67	71	3,25	40	47
<i>Нижняя часть склона, 5-7⁰</i>								
P ₅₀ K ₅₀ – Ф (фон)	1,82	-	-	1,82	100	-	-	-
Ф + N ₅₀ вразброс	5,03	1,45	29	3,58	71	1,76	35	29
Ф + ¹⁵ N ₅₀ локально	6,70	1,95	29	4,75	71	2,93	44	39
Сорт Новичок								
<i>Приводораздельная часть склона, 2-3⁰</i>								
P ₅₀ K ₅₀ – Ф (фон)	3,02	-	-	3,02	100	-	-	-
Ф + N ₅₀ вразброс	6,49	1,61	25	4,88	75	1,86	29	32
Ф + ¹⁵ N ₅₀ локально	8,34	2,14	26	6,20	74	3,18	38	43
<i>Средняя часть склона, 3-5⁰</i>								
P ₅₀ K ₅₀ – Ф (фон)	2,19	-	-	2,19	100	-	-	-
Ф + N ₅₀ вразброс	5,09	1,72	34	3,37	66	1,18	23	34
Ф + ¹⁵ N ₅₀ локально	7,85	1,93	25	5,92	75	3,73	47	39
<i>Нижняя часть склона, 5-7⁰</i>								
P ₅₀ K ₅₀ – Ф (фон)	1,61	-	-	1,61	100	-	-	-
Ф + N ₅₀ вразброс	4,91	1,31	27	3,60	73	1,99	41	26
Ф + ¹⁵ N ₅₀ локально	6,51	1,47	23	5,04	77	3,43	53	29

2. Продуктивность сортов ячменя в зависимости от элемента склона и способа внесения азотного удобрения

Вариант опыта	2. Продуктивность сортовых трав в зависимости от элемента склона и способа внесения азотного удобрения													
	Сорт Раушан			Сырой белок, %	Сорт Новичок			Сырой белок, %	Сорт Раушан			Сорт Новичок		
	зерно, г/м ²	прибавка г/м ² %			зерно, г/м ²	прибавка г/м ² %			солома, г/м ²	прибавка г/м ² %		солома, г/м ²	прибавка г/м ² %	
Приводораздельная часть склона 2-3 ⁰														
P ₅₀ K ₅₀ – Ф (фон)	190	-	-	7,9	173	-	-	6,9	228	-	-	260	-	-
Ф+N ₅₀ вразброс	389	199	95	8,6	347	174	100	7,9	467	239	105	521	261	100
Ф+N ₅₀ локально	460	270	131	8,9	410	237	136	8,2	552	324	142	615	355	137
Средняя часть склона 3-5 ⁰														
P ₅₀ K ₅₀ – Ф (фон)	153	-	-	6,6	135	-	-	6,7	184	-	-	203	-	-
Ф+N ₅₀ вразброс	313	160	105	8,4	309	174	129	7,2	376	192	104	462	259	128
Ф+N ₅₀ локально	361	208	136	9,1	334	199	147	8,0	432	248	135	502	299	147
Нижняя часть склона 5-7 ⁰														
P ₅₀ K ₅₀ – Ф (фон)	115	-	-	6,1	101	-	-	6,6	139	-	-	152	-	-
Ф+N ₅₀ вразброс	234	119	103	7,8	206	105	104	7,1	281	142	102	309	157	103
Ф+N ₅₀ локально	297	182	158	8,4	258	157	155	7,7	369	230	165	387	235	155
P, %	2,0				2,0				2,0			2,0		
НСР _{0,5} , г/м ² : част. ср.	14				8				8			12		
рельеф	8				5				5			7		
способ внесения	8				5				5			7		

В условиях выщелоченного чернозема (Белгородская обл.) по урожаю зерна выделялись два сорта ячменя (Приазовский 9 и Хаджибей), тогда как на склоне сортовые особенности не проявлялись [14]. Наибольший урожай зерна сорта ячменя формировали на плакоре, а наивысшей эффективностью азотные удобрения (по оплате 1 кг) отличались на склоне.

По содержанию сырого белка в зерне сорта ячменя в условиях склона ведут себя неоднозначно (табл.2). Так, на фоне P₅₀K₅₀ на приводораздельной части склона содержание сырого белка в зерне пивоваренного сорта Раушан было выше на 1%, чем в зерне зернофуражного сорта Новичок.

В условиях склона, наоборот, сырого белка в зерне зернофуражного сорта Новичок было больше на 0,1-0,5% по сравнению с пивоваренным сортом Раушан. На фоне применения азотного удобрения в дозе 50 кг/га в зерне сорта Раушан сы-

рого белка содержалось на 0,7-1,2% больше, чем в зерне зернофуражного сорта Новичок. Содержание сырого белка в зерне обоих сортов снижалось от приводораздельной части склона к тальвегу. Наибольшее количество сырого белка в зерне обоих сортов накапливалось при локальном внесении азотного удобрения: у пивоваренного сорта Раушан – на 0,3-0,7%, у сорта зернофуражного сорта Новичок – на 0,3-0,8% по сравнению с разбросным способом их применения.

Ячмень характеризуется широким диапазоном использования азота удобрения – от 14 до 70% [5, 15-19].

Коэффициент использования азота удобрений (КИАУ) ячменем при разбросном способе внесения составил 43,3%, при локальном – 53,1% [12].

В почве склонов складываются специфические условия трансформации и круговорота азота удобрений. Наибольшее

количество азота удобрения использовал пивоваренный сорт Раушан: при разбросном внесении – в 1,1-1,2 раза, при локальном – 1,2-1,3 раза по сравнению с зернофуражным сортом Новичок (табл. 3). Доля «экстра»-азота при локальном внесении азотного удобрения у сорта Раушан составляла 40-44%, у сорта Новичок – 38-53%, а при разбросном внесении 26-35 и 23-41% соответственно по элементам рельефа. Иммобилизация азота в почве происходила с некоторым преимуществом при выращивании пивоваренного сорта Раушан. В почве закрепляется в 1,1-1,3 раза больше азота удобрения при обоих способах внесения азотного удобрения. Газообразные потери азотного удобрения были ниже при выращивании сорта Раушан: в 1,1-1,3 раза при разбросном внесении удобрений и в 1,3-2,1 раза при локальном по сравнению с сортом Новичок. Данные сорта ячменя неодинаково реагировали на изменение способа внесения азотного удобрения. Так, за счет локализации удобрения пивоваренный сорт Раушан использовал больше азота удобрений в 1,3-1,5 раза, тогда как зернофуражный сорт Новичок – в 1,1-1,3 раза. При этом потери азота удобрений при выращивании пивоваренного сорта Раушан снижались в 1,3-2,5 раза, а у зернофуражного сорта Новичок – в 1,1-1,5 раза.

3. Баланс азота удобрений при выращивании различных сортов ячменя в зависимости от элемента склона и способа внесения азотного удобрения, % от применяемой дозы

Способ внесения удобрения	Использовано растениями			Иммобилизовано в слое почвы 100 см			Газообразные потери		
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
Фон + $^{15}\text{N}_{50}$ вразброс	38	36	29	25	22	19	37	42	52
Фон + $^{15}\text{N}_{50}$ локально	56	47	39	29	26	22	15	27	39
	43	39	29	25	23	20	32	38	51

Примечание. 1- приводораздельная часть склона 2-3⁰; 2 – средняя часть склона 3-5⁰; 3 – нижняя часть склона, 5-7⁰. Над чертой – пивоваренный сорт Раушан, под чертой – зернофуражный сорт Новичок.

Выводы. 1. В условиях 5-польного севооборота на дерново-подзолистой среднесуглинистой почве склона юго-восточной экспозиции максимальное количество азота удобрений (56% от применяемой дозы) использовал пивоваренный сорт ярового ячменя Раушан на приводораздельной части склона при локальном внесении азотного удобрения в дозе 50 кг/га. В нижней части склона потребление азота удобрений этим сортом снижалось до 39%. Зернофуражный сорт Новичок на приводораздельной части склона потреблял 43% азота удобрений, в нижней части склона – 29%.

2. Пивоваренный сорт ярового ячменя Раушан отличается и лучшим потреблением азота почвы на приводораздельной части склона по сравнению с зернофуражным сортом Новичок. Однако, в средней и нижней частях склона больше азота почвы потреблял сорт Новичок. При этом большая часть азота почвы у этого сорта накапливалась в соломе.

3. Наибольшее количество азота удобрений закреплялось в почве у сортов Раушан (29%) и Новичок (25%) в приводораздельной части склона при локальном внесении азотного удобрения. В нижней части склона иммобилизация азота удобрений снижалась до 22 и 20% соответственно.

4. Экологическую целесообразность выращивания сорта

определяют газообразные потери азота удобрений. При выращивании пивоваренного сорта Раушан потери азота были на 3-10% ниже (по сравнению с зернофуражным сортом Новичок) при разбросном применении азотного удобрения и на 11-17% – при локальном их внесении. При внесении азотного удобрения локально газообразные потери азота при выращивании пивоваренного сорта Раушан снижались в 1,3-2,5 раза, тогда как при выращивании зернофуражного сорта Новичок – в 1,1-1,5 раза по сравнению с разбросным внесением.

5. За счет лучшего потребления и усвоения азота удобрений и азота почвы (в том числе и других элементов) пивоваренный сорт ячменя Раушан формировал более высокий урожай зерна: на 12% по сравнению с зернофуражным сортом Новичок на приводораздельной части склона и на 15% в нижней части склона. Пивоваренный сорт Раушан формировал зерно с содержанием сырого белка на 0,7-1,2% больше по сравнению с зернофуражным сортом Новичок.

Литература

1. Кашищанов А.Н., Явтушенко В.Е. Агроэкология почв склонов. – М.: Колос, 1997. – С.5-20.
2. 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.
3. Явтушенко В.Е., Цуриков Л.Н., Шмырева Н.Я. Использование азота удобрений ячменем на дерново-подзолистой почве в эрозийном рельефе // Агрохимия. – 1998. №2. – С.53-59.
4. Гамзиков Г.П., Костик Г.И., Емельянова В.Н. и превращение азота удобрений. – Новосибирск: Наука, 1985. – С.6-88.
5. Кореньков Д.А. Агроэкологические аспекты применения азотных удобрений. – М.: Колос, 1999. – 296 с.
6. 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.
7. 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.
8. Цыбулько Н.Н., Черныш А.Ф., Жукова И.И., Пунченко С.С. Азотный фонд дерново-подзолистых почв различной степени эродированности и потери азота в процессе водной эрозии // Агрохимия. – 2013. №2. – С.3-10.
9. Минеев В.Г. Практикум по агрохимии. – М.: МГУ, 2001. – С.65-191.
10. Шмырева Н.Я., Соколов О.А., Цуриков Л.Н., Прохин Л.В., Панкратенкова И.В. Использование азота удобрений ячменем при различных способах внесения азотных удобрений в условиях эрозийного ландшафта // Плодородие. – 2012. – №4. – С.30-32.
11. Соколов О.А., Семенов В.М. Теория и практика рационального применения азотных удобрений. – М.: Наука, 1992. – 207с.
12. Осипов А.И., Соколов О.А. Роль азота в плодородии почв и в питании растений. Кн. 4. – С.-Пб., 2001. – 356 с.
13. Сычев В.Г., Соколов О.А., Шмырева Н.Я. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур. Агрохимические аспекты роли азота в продукционном процессе. – Т. 1 М.: ВНИИА, 2009. – 423 с.
14. Смирнова Л.Г. Эколого-ландшафтное обоснование воспроизводства плодородия почв в эрозийном рельефе юго-западной лесостепной провинции УЧЗ России // Автореф. ...д-ра с.-х. н. – М.: ВНИИА, 2007. – 50 с.
15. Руделев Е.В. Трансформация азота почвы и азота удобрений // Агрохимия. – 1989. – №4. – С.113-123.
16. Явтушенко В.Е., Шмырева Н.Я., Цуриков Л.Н. Баланс, трансформация и миграция азота удобрений в эрозийном ландшафте Центрального Нечерноземья // Агрохимия. – 2000. – №12. – С.5-14.
17. Вьюкова О.Б. Влияние локального внесения азотных удобрений совместно с ингибитором нитрификации на их эффективность // Автореф. дис. канд. биол. н. – М., 1983. – 22 с.
18. Нестерова Е.И. Дозы азотных удобрений для различных культур // Азот в земледелии Нечерноземной полосы. – М.: Колос, 1973. – С.239-258.
19. 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.

BALANCE OF NITROGEN FERTILIZERS AT THE GROWING OF DIFFERENT BARLEY CULTIVARS ON A SLOPE (FROM ^{15}N STUDIES)

N.Ya. Shmyreva, O.A. Sokolov, A.A. Zavalin, V.A. Litvinskii, Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agricultural Chemistry, Russian Academy of Agricultural Sciences, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia

It has been shown that a more ecological budget of fertilizer nitrogen is formed in a loamy soddy-podzolic soil on the southeastern slope at the local application of nitrogen fertilizer for the Raushan cultivar of malting barley compared to the Novichok cultivar. Barley has utilized 56% of fertilizer nitrogen on the near-watershed slope (2–3°), 47% on the middle slope (3–5°), and 39% on the lower slope (5–7°); 29, 26, and 22% of nitrogen has been fixed; 15, 27, and 39% of nitrogen has been lost, respectively.

Keywords: barley cultivar, soil erosion by water, ^{15}N stable nitrogen isotope.