

УДК 631.81:631.559:633.2:631.461.5

ВЛИЯНИЕ УДОБРЕНИЙ И МИКРОБНОГО ПРЕПАРАТА НА УРОЖАЙНОСТЬ СОВРЕМЕННЫХ МНОГОЛЕТНИХ МУЛЬТИТРАВОСМЕСЕЙ И ИХ СПОСОБНОСТЬ К УСВОЕНИЮ АТМОСФЕРНОГО АЗОТА В ЦЕНТРАЛЬНОМ НЕЧЕРНОЗЕМЬЕ

© 2019 г. В. В. Конончук^{1,*}, В. Д. Штырхунов¹, Г. В. Благовещенский¹,
С. М. Тимошенко¹, Т. О. Назарова¹, С. В. Соболев¹

¹ Федеральний исследовательский центр «Немчиновка»
143026 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Новоивановское, ул. Агротехников, 6, Россия

*E-mail: vadimkononchuk@yandex.ru

Поступила в редакцию 13.12.2018 г.

После доработки 25.12.2018 г.

Принята к публикации 10.04.2019 г.

На среднекультуренной дерново-подзолистой почве, с обеспеченностью фосфором 190–230 мг/кг и калием 86–110 мг/кг сбор абсолютно сухого вещества общей биомассы двойной бобовой и тройной бобово-злаковой травосмесей за 3 года жизни в севообороте достигал порядка 30 т/га, в том числе ≈17 т/га (59%) товарной части. В вариантах без удобрений и при систематическом внесении Р60К60 вклад общего азота биомассы в малый биологический круговорот составлял 750 и 620 кг/га, фиксированного азота – 630 и 470 кг/га (84 и 76%). Азот в составе полного удобрения снижал урожайность биомассы, величину накопления общего и биологического азота, азотфиксирующую способность бобового компонента в течение всего периода исследования. Биологически активный препарат азоризин (штамм 8) не влиял на урожайность покровного ячменя, но смягчал отрицательное воздействие азота удобрений на азотфиксацию, повышая коэффициент азотфиксации (K_{Φ}) бобовой травосмеси, особенно в 1-й, бобово-злаковой – в 3-й год жизни. С пожнивно-корневыми остатками травосмесей в зависимости от их состава в почву поступало сухой органической массы до 13 т/га, а с ней общего азота до 220–270 кг/га и симбиотически связанного азота до 160–230 кг/га.

Ключевые слова: удобрения, микробный препарат, урожайность, многолетние мультитравосмеси, усвоение атмосферного азота, Центральное Нечерноземье.

DOI: 10.1134/S0002188119070068

ВВЕДЕНИЕ

Посевы многолетних трав как источник дешевых, сбалансированных по энергии и протеину объемистых кормов являются основой полевого кормопроизводства хозяйств молочного направления в Центре Нечерноземной зоны РФ.

Помимо чисто производственной они выполняют также и очень важную средообразующую функцию. Перевод части пашни во временную залежь при их возделывании способствует восстановлению структуры корнеобитаемого слоя, разуплотнению плужной подошвы, снижению засоренности и улучшению фитосанитарного состояния поля. К распашке пласта многолетних бобовых и бобово-злаковых травосмесей в почве накапливается масса органического вещества пожнивных остатков и корней, обогащенная азотом биологического происхождения. При ее минера-

лизации в почву дополнительно поступает симбиотически связанный азот, что способствует экономии промышленных азотных удобрений в процессе выращивания 2–3-х последующих зерновых культур и обеспечивает улучшение экологической ситуации в агроценозах и на прилегающих территориях.

Согласно современной статистике [1], основные площади многолетних трав в Нечерноземье представлены старовозрастными посевами с низкой долей бобового компонента. В силу этого их продуктивность, удобрительная ценность и средоулучшающее значение существенно ослаблено или отсутствует.

Между тем сельскохозяйственной наукой разработаны и предложены производству отечественные мультитравосмеси расширенного видового разнообразия с участием видов и сортов, характе-

ризующихся разными сроками биологического созревания. Это способствует повышению их продуктивного долголетия и позволяет получать стабильно высокую урожайность надземной биомассы [2–6].

В связи с вышеизложенным, определенный научный и практический интерес представляют ранее не публиковавшиеся материалы по изучению реакции современных мультитравосмесей на отдельные элементы технологии возделывания в плодосменных биологизированных севооборотах, полученные в длительном стационарном полевом опыте отдела земледелия ФИЦ “Немчиновка” в 2005–2007 гг., и отражающие их воздействие на динамику органического вещества и биологического азота в агрофитоценозе и биосфере.

Цель работы – совершенствование технологии возделывания многолетних мультитравосмесей в плодосменных севооборотах Центрального Нечерноземья, обеспечивающей устойчиво высокую урожайность и качество надземной биомассы, обогащение почвы органическим веществом и биологическим азотом, снижение напряженности экологической ситуации в агрофитоценозах и прилегающих территориях.

В задачи исследования входило:

– изучить реакцию покровной культуры и подпокровных мультитравосмесей на видовые особенности предшественника, применение удобрений и биопрепарата, стимулирующего ассоциативную азотфиксацию в ризосфере зерновых при разных погодных условиях вегетационных периодов;

– выявить параметры обеспеченности почвы подвижным фосфором и калием в весенние периоды, обеспечивающие максимальную продуктивность травосмесей;

– определить количественные параметры азотфиксирующей способности бобового компонента в зависимости от технологических факторов возделывания, состава травосмесей и погодных условий;

– установить величины поступления в почву и малый биологический круговорот органического вещества пожнивно-корневых остатков, накопленного в них общего и биологического азота;

– предложить производству оптимальный состав мультитравосмесей, обеспечивающих получение высокой урожайности, стабилизацию ее по годам использования в севообороте, обогащение почвы органическим веществом и биологическим азотом, снижение риска загрязнения окружающей среды избыточными минеральными удобрениями.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в 2005–2007 гг. в травяных звеньях (2-го года пользования) в середине 3-й ротации двух 8-польных плодосменных севооборотов, различающихся долей бобовых культур (25 и 50%) и видовым составом травосмесей (клевер + люцерна + тимофеевка и клевер + люцерна). Опыт был заложен в одном полевом эксперименте в 2-х полях с последовательным вхождением осенью 1993–1994 гг. на опытном участке НИИСХ ЦРНЗ (в настоящее время – ФИЦ “Немчиновка”), расположенном в Одинцовском р-не Московской обл.

Чередование культур в севообороте с 25%-ным насыщением бобовыми: сидеральный пар (горчица белая), озимое тритикале, пелюшка на зерно, яровая пшеница, ячмень с подсевом многолетних трав, многолетние травы 1–2-го годов пользования, озимая пшеница, овес; в севообороте с 50%-ным насыщением: сидеральный пар (люпин узколистный), озимое тритикале, ячмень с подсевом многолетних трав, многолетние травы 1–2-го годов пользования, озимая пшеница, овес.

Схема опыта включала 3 варианта доз удобрений: без удобрений, P60K60, N60P60K60, которые вносили под все культуры, кроме многолетних трав 1–2-го годов пользования. Посев озимых и яровых зерновых культур проводили семенами, обработанными микробным препаратом, стимулирующим ассоциативную азотфиксацию (препарат азоризин, штамм 8), и необработанными семенами.

Реакцию культур на удобрения и биопрепарат изучали на 2-х фонах основной обработки почвы: при вспашке на 20–22 см систематически и при чередовании вспашки с отвальным рыхлением на 8–12 см (дискованием) в системе комбинированной обработки почвы. При этом вспашку использовали под посев сидерата, многолетних трав и озимой пшеницы после пласта многолетних трав. Под остальные культуры применяли дискование.

В травяных звеньях севооборотов под покров ячменя сорта Эльф в смесях и одновидовых посевах (тимофеевка луговая как культура сравнения) высевали следующие сорта многолетних трав: клевер луговой ВИК 7, люцерна пестрогибридная Вега, тимофеевка луговая ВИК 85. Норма посева покровного ячменя – 3.5 млн семян/га или 170 кг/га, двойной бобовой травосмеси – 16 кг/га (10 + 6), тройной бобово-злаковой – 20 кг/га (10 + 6 + 4). Площадь делянки – 144 м², учетная – 40 м², повторность четырехкратная, расположение делянок последовательное.

В процессе исследования пользовались методическими указаниями РАСХН [7]. При закладке полевого опыта удобрения вносили вручную, используя при этом $P_{\text{сдг}}$ (24% P_2O_5), K_x (60% K_2O), $N_{\text{аа}}$ (34.5% N). Основную обработку почвы после лущения стерни предшественника (ЛГД-10) проводили плугом с предплужником (ПЛН-3-35) с зубовой бороной и дисковой бороной (БДТ-3,5), агрегируемыми с колесным трактором МТЗ-82. Для предпосевной обработки почвы после закрытия влаги сепом борон “Зигзаг” и одной культивации (КПС-4,5) использовали комплексный агрегат РВК 3,6. Посев проводили сеялкой точного высева СН-16. Учет урожая – сплошной поделачночный: ячменя – комбайном SAMPO-130, многолетних трав – скашиванием вручную. Результаты учетов после приведения их к стандартной влажности и 100%-ной чистоте обработаны статистическими методами с использованием компьютерной программы Геосети ВИУА [8].

В процессе роста и развития культур травяного звена проводили следующие наблюдения: в год посева и последующие годы изучали особенности сезонной динамики содержания подвижного фосфора и калия в слое 0–20 см почвы, динамику содержания $N-NO_3$ (ГОСТ 26483-85) – в фазах кущение, колошение–цветение и в полную спелость ячменя в зависимости от вариантов удобрения и применения биопрепарата. Параллельно в растительных образцах ячменя определяли содержание $N_{\text{общ}}$, в зерне и соломе – также N, P_2O_5 и K_2O . Анализы почвы и растений проводили в аккредитованной лаборатории массовых анализов института с использованием методики и ГОСТов, принятых в агрохимической службе.

В годы возделывания многолетних трав покосно весовым методом изучали изменение ботанического состава травосмесей. Осуществляли наблюдения за их химическим составом в зависимости от применения удобрений и биопрепарата, а также за динамикой азотфиксирующей способности бобового компонента по методике сравнения с небобовой культурой [9].

После последнего укоса трав в 3-й год жизни поделачночно в 2-х повторениях на фоне последнего действия комбинированной обработки почвы изучали накопление массы сухого вещества пожнивных остатков и корней (ПКО) в слое 0–30 см почвы по Станкову [10]. В воздушно-сухих образцах ПКО определяли содержание $N_{\text{общ}}$ и по коэффициентам азотфиксации (K_f) рассчитывали накопление в них фиксированного из атмосферы азота.

Почва – дерново-подзолистая среднесуглинистая, подстилаемая с глубины 70–80 см суглинистой мореной. После уборки предшественников пахотный (0–20 см) слой ее характеризовался следующими агрохимическими показателями: содержание гумуса – 1.57–1.79%, подвижного фосфора – 105–215 мг/кг, подвижного калия 75–128 мг/кг, pH_{KCl} 6.0–6.8.

Метеорологические условия вегетационных периодов ячменя и многолетних трав 1–3-го годов жизни существенно различались. Вегетационный период 2005 г. (май–август) характеризовался высоким уровнем увлажнения и повышенным температурным режимом (ГТК 1.72), в 2006 г. за тот же период количество осадков и среднесуточная температура воздуха приближались к средним многолетним (ГТК 1.25). Вегетационный период трав в 2007 г. (апрель–июнь) отличался существенным недобором осадков (60% от нормы) и среднесуточной температурой воздуха, в среднем на 3.5°C превышающей среднюю многолетнюю величину (ГТК 0.68). Отмеченные особенности погоды в течение активной вегетации ячменя и трав оказывали влияние на формирование урожая, азотфиксирующую способность и размеры накопления азота в биомассе.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Основное влияние на урожайность зерна покровного ячменя в годы исследования оказывали погодные условия и применение удобрений. В нормальных условиях увлажнения 2006 г. величина урожайности в среднем составила 3.21 т/га, при избыточном увлажнении в 2005 г. – только 1.25 т/га или была на 2.16 т/га (на 67%) меньше (табл. 1).

Эффективность применения удобрений под ячмень с подсевом многолетних трав также определяли погодные условия, существенно усиливаясь в неблагоприятные периоды. Прибавка урожайности зерна от внесения РК-удобрений в условиях влажного вегетационного периода 2005 г. составила 40%, при нормальном увлажнении в 2006 г. – 7%. Еще более выраженным оказалось влияние погодного фактора на эффективность азота, внесенного в составе NPK. Если при нормальном увлажнении применение N60 совместно с P60K60 способствовало росту урожайности к фону P60K60 на 68%, то при избыточном – на 250%. В последнем случае отмечен синергизм взаимодействия N с P_2O_5 и K_2O в удобрении. Относительная прибавка урожайности зерна к контролю при этом составила 390% и была на 100% больше суммы прибавки от N и РК. При нор-

Таблица 1. Урожайность и качество зерна покровного ячменя в зависимости от агротехнических факторов при разных погодных условиях вегетационных периодов

Предшественник, фактор <i>A</i>	Применение биопрепарата, фактор <i>B</i>	Дозы и сочетание удобрений, фактор <i>C</i> , кг/га	Год			
			2005		2006	
			урожайность, т/га	сырой белок, %	урожайность, т/га	сырой белок, %
Яровая пшеница	–	Без удобрений	0.56	8.40	2.24	7.06
		P60K60	0.62	7.80	2.62	7.23
		N60P60K60	2.46	8.00	4.52	8.90
	+	Без удобрений	0.38	7.98	2.44	7.18
		P60K60	0.42	8.38	2.66	6.95
		N60P60K60	2.10	9.40	4.10	9.12
Горох полевой на зерно	–	Без удобрений	0.44	8.70	2.72	7.63
		P60K60	0.78	9.30	2.72	10.1
		N60P60K60	2.04	8.38	4.75	10.9
	+	Без удобрений	0.33	8.38	2.69	7.80
		P60K60	0.57	7.80	2.59	7.41
		N60P60K60	1.87	8.20	4.45	10.4
<i>HCP</i> ₀₅ , т/га	$A = F_{\phi} < F_T$	0.13				
	$B = 0.04$	0.13				
	$C = 0.04$	0.16				
	$AB = F_{\phi} < F_T$	0.19				
	$BC = F_{\phi} < F_T$	0.21				
	$AC = 0.06$	0.18				
	$ABC = 0.09$	0.24				

мальном увлажнении сумма относительных прибавок урожайности от N и PK практически совпала с величиной прибавки от полного удобрения (76 и 77%) соответственно. Следовательно, в неблагоприятных условиях возделывания применение удобрений было мощным фактором сохранения и стабилизации урожайности зерновых колосовых культур.

Реакция покровного ячменя на остальные агротехнические факторы (предшественник, биопрепарат) также определялась состоянием погоды. В нормальных условиях лучшее влияние оказал бобовый предшественник, где урожайность в среднем для факторов, кроме изученного, составила 3.32 т/га и была на 0.22 т/га (на 7%) больше после зернового предшественника. При избыточном увлажнении значение предшественника нивелировалось, и урожайность в среднем варьировала в пределах 1.20–1.09 т/га.

Обработка семян ячменя препаратом азоризин (штамм 8) не оказала положительного влияния на величину его урожайности, и она не зависела от погодного фактора в течение вегетационного пе-

риода, обеспечивая получение в среднем в вариантах предшественников и применения удобрений 3.16 т зерна/га (ГТК 1.25) и 0.94 т/га (ГТК 1.72) против 3.26 и 1.15 т/га соответственно в вариантах без применения биопрепарата.

Многолетняя бобово-злаковая травосмесь, как и покровный ячмень, в целом не реагировала на использование препарата азоризин. При этом в среднем для факторов, кроме изученного, общая за 3 года урожайность сухой массы в вариантах применения биопрепарата составила 15.2, без него – 15.1 т/га. Тем не менее, в варианте с внесением N60P60K60 перед посевом ячменя и трав отмечено увеличение урожайности от использования биопрепарата на 1.63 т/га (на 12%) к варианту без обработки биопрепаратом или с 13.7 до 15.3 т/га. Это могло быть обусловлено положительным влиянием данного агроприема в первые 2 года жизни травосмеси (соответственно прибавки 0.97 и 0.94 т/га или 46 и 12%) (табл. 2).

В отличие от тройной бобово-злаковой двойная бобовая травосмесь положительно реагировала на использование азоризина для обработки

Таблица 2. Урожайность и азотфиксирующая способность смеси клевера и люцерны с тимофеевкой 3-х лет жизни в зависимости от удобрений и обработки семян биологически активным препаратом (2005–2007 гг.)

Показатель	Применение биопрепарата					
	–			+		
	дозы и сочетания удобрений, кг/га					
	без удобрений	P60K60	N60P60K60	без удобрений	P60K60	N60P60K60
перед посевом		перед посевом				
Урожайность за 3 года, т/га,	14.9	16.8	13.7	14.4	15.8	15.3
в 1-й год	3.24	3.48	2.10	3.40	4.25	3.07
во 2-й год	7.96	9.60	7.76	7.02	7.89	8.70
в 3-й год	3.68	3.71	3.84	4.02	3.65	3.56
Накопление пожнивно-корневых остатков (ПКО) за 3 года, т/га	10.6	13.0	13.0	12.2	13.2	13.2
Азот общий в урожае надземной массы за 3 года, т/га	345	401	289	334	364	335
в 1-й год	68	71	42	88	101	80
во 2-й год	219	257	187	171	197	187
в 3-й год	58	73	60	75	66	68
Азот общий в ПКО за 3 года, кг/га	186	221	152	161	180	180
Коэффициент азотфиксации (K_{ϕ}) за 3 года	0.80	0.74	0.65	0.73	0.79	0.67
в 1-й год	0.85	0.84	0.84	0.84	0.87	0.84
во 2-й год	0.75	0.79	0.73	0.78	0.85	0.61
в 3-й год	0.87	0.56	0.19	0.44	0.45	0.59
Азот биологический в урожае за 3 года, кг/га	272	304	182	240	286	221
в 1-й год	58	60	35	74	88	67
во 2-й год	164	203	136	133	168	114
в 3-й год	50	41	11	33	30	40
Азот биологический в ПКО за 3 года, кг/га	149	164	99	118	142	121
Вовлечение азота биомассы в малый биологический круговорот за 3 года, кг/га						
общего	531	622	441	495	544	515
фиксированного	421	468	281	358	428	342

семян ячменя, повышая под его влиянием суммарную за 3 года урожайность с 14.0 до 15.1 т/га или на 8%. Эффективность биопрепарата в наибольшей степени проявлялась в год посева. При этом без применения удобрений урожайность выросла на 10%, в удобренных вариантах – на 95 (РК) и на 139% (НРК). Во второй год жизни и использования клевера с люцерной положительное последствие азоризина проявилось только в неудобренном контроле, где прибавка к необра-

ботанному фону составила 0.63 т/га или 7.5% (табл. 3).

Таким образом предпосевная обработка семян покровного ячменя биологическим препаратом, стимулирующим ассоциативную азотфиксацию в ризосфере зерновых, не оказала влияния на его урожайность в годы исследования, но приводила к росту последней смесей клевера с люцерной в среднем на 8% или на 1.14 т/га к необработанному фону.

Таблица 3. Урожайность и азотфиксирующая способность смеси клевера с люцерной 3-х лет жизни в зависимости от удобрений и обработки семян биологически активным препаратом (2005–2007 гг.)

Показатель	Применение биопрепарата					
	–			+		
	дозы и сочетания удобрений, кг/га					
	без удобрений	P60K60	N60P60K60	без удобрений	P60K60	N60P60K60
перед посевом		перед посевом				
Урожайность за 3 года, т/га	16.1	13.4	12.5	16.5	14.8	14.1
в 1-й год	4.22	1.92	1.45	4.62	3.74	3.46
во 2-й год	8.43	8.28	7.65	9.06	7.39	7.72
в 3-й год	3.41	3.17	3.37	2.81	3.65	2.87
Накопление пожнивно-корневых остатков (ПКО) за 3 года, т/га	13.2	11.2	11.6	12.6	12.0	11.8
Азот общий в урожае надземной массы за 3 года, т/га	457	379	356	478	367	3.76
в 1-й год	113	55	41	132	85	94
во 2-й год	264	236	230	266	182	210
в 3-й год	80	88	85	80	100	72
Азот общий в ПКО за 3 года, кг/га	281	228	220	272	254	223
Коэффициент азотфиксации (K_f) за 3 года	0.82	0.77	0.69	0.83	0.80	0.74
в 1-й год	0.92	0.78	0.67	0.92	0.87	0.89
во 2-й год	0.81	0.79	0.74	0.83	0.80	0.70
в 3-й год	0.73	0.72	0.59	0.71	0.74	0.55
Азот биологический в урожае за 3 года, кг/га	376	292	248	399	294	271
в 1-й год	104	43	28	121	74	84
во 2-й год	214	186	170	221	146	147
в 3-й год	58	63	50	57	74	40
Азот биологический в ПКО за 3 года, кг/га	230	176	152	226	203	165
Вовлечение азота биомассы в малый биологический круговорот за 3 года, кг/га						
общего	738	607	576	759	621	549
фиксированного	606	468	400	625	497	436

Биопрепарат способствовал усилению эффективности полного минерального удобрения в посевах тройной бобово-злаковой травосмеси, повышая ее урожайность в этом варианте в среднем на 12%. У обеих травосмесей наибольший положительный эффект от применения азоризина (штамм 8) проявлялся в год посева, заметно снижаясь во 2-й и отсутствуя в 3-й год жизни. Следует отметить, что об указанных выше особенностях воздействия микробного препарата на травянистый агроценоз ни в отечественной ни в

зарубежной научной литературе ссылок не обнаружено.

В годы исследования улучшение обеспеченности пахотного слоя почвы подвижным фосфором и калием за счет систематического внесения соответствующих минеральных удобрений приводило к росту суммарной урожайности смеси клевера и люцерны с тимофеевкой в сравнении с контролем в среднем на 1.63 т/га (на 11%) или с 14.7 до 16.3 т/га главным образом вследствие заметного положительного влияния в 1-й и во 2-й годы

жизни (прибавка 16 и 17% соответственно). В эти годы содержание подвижного фосфора и калия в почве варианта РК в начале вегетации варьировало в пределах 210–230 и 80–110 мг/кг соответственно. Бобовая травосмесь (клевер + люцерна) урожайность подобного уровня 16.3 т/га сформировала без внесения удобрений при содержании подвижного фосфора в почве весной в пределах 190–200 мг/кг, подвижного калия – 86–89 мг/кг. Фосфорно-калийное удобрение в дозах Р60К60 снижало величину урожайности на 2.2 т/га (на 14%).

Азот в составе НРК оказывал отрицательное влияние на урожайность обеих травосмесей. При этом общая урожайность бобово-злаковой травосмеси уменьшалась в среднем на 1.77 т/га (на 11%) к фону РК, бобовой – на 0.82 т/га (на 6%) (табл. 2, 3).

Следовательно, при создании и поддержании уровней содержания подвижного фосфора и калия в почве в весенние периоды 1–2-го годов жизни многолетних бобовой и бобово-злаковой травосмесей соответственно в пределах 4-го и 3-го классов обеспеченности по принятым градациям, суммарная за 3 года урожайность их сухой массы не меньше 16 т/га могла быть получена без дополнительного внесения азотных удобрений.

В середине 3-го года жизни смеси клевера и люцерны с тимофеевкой к распашке пласта накопление массы сухого вещества пожнивно-корневых остатков в почве с поправкой на полноту учета, равную 2 [11], в зависимости от агротехнических факторов варьировало в пределах 10.6–13.2 т/га, смеси клевера с люцерной – от 11.2 до 13.2 т/га. Максимальные величины массы ПКО соответствовали урожайности сухой надземной биомассы и были отмечены в контроле без удобрений (бобовая травосмесь) и в варианте Р60К60 (бобово-злаковая травосмесь). Предпосевная обработка семян покровного ячменя азоризином не приводила к существенным изменениям накопления массы пожнивно-корневых остатков обеих травосмесей.

Общее накопление биомассы многолетних мультитравосмесей, включая надземную часть и пожнивно-корневые остатки, в отмеченных выше вариантах составило 29–30 т/га. Азот в составе полного удобрения, снижая урожайность надземной массы, способствовал также и уменьшению накопления ПКО бобово-злаковой травосмеси в среднем на 15, бобовой – на 6%.

Таким образом, для формирования общей продуктивности изученных травосмесей порядка 30 т сухой массы/га, в том числе до 60% товарного урожая на средне окультуренных дерново-подзо-

листых почвах Центрального региона РФ перво-степенное значение имело создание обеспеченности пахотного слоя почвы фосфором и калием в весенние периоды соответственно не ниже 4-го и 3-го классов по принятым в настоящее время градациям. При этом отсутствовала необходимость применения азотного удобрения и биопрепарата. Урожайность зерна покровной культуры при этом составляла 2.5–3.0 т/га, накопление сырого белка в нем достигало 7–10 ц/га, а для подпокровных трав создавались наиболее благоприятные условия произрастания.

Размеры накопления азота в урожае надземной массы, пожнивно-корневых остатков и в общей биомассе находились в соответствии с составом травосмесей и характером воздействия агротехнических факторов. Максимальное накопление $N_{\text{общ}}$ при выращивании смеси клевера и люцерны с тимофеевкой, равное соответственно 401, 221 и 622 кг/га, отмечено в варианте Р60К60 без использования биопрепарата. У бобовой травосмеси (клевер + люцерна) при этом выделили вариант без удобрений, на фоне применения азоризина – 478, 272 и 759 кг/га (табл. 2, 3).

Приведенные материалы убедительно показали большие возможности многолетних травосмесей усовершенствованного состава по накоплению общего азота в биомассе, поступлению его в почву с ПКО и вовлечению в малый биологический круговорот.

Установлена высокая азотфиксирующая способность изученных травосмесей. В среднем за 3 года коэффициенты азотфиксации бобово-злаковой травосмеси в зависимости от агротехнических факторов возделывания варьировали в диапазоне 0.65–0.80, бобовой – возрастали до 0.69–0.83.

Наиболее высокими величинами $K_{\text{ф}}$ выделялись травосмеси 1-го года жизни: бобово-злаковая – от 0.84 до 0.87, бобовая – от 0.67 до 0.92. С возрастом их способность к усвоению атмосферного азота ослабевала. У бобовой травосмеси $K_{\text{ф}}$ при этом уменьшался в среднем до 0.75 (2-й год) и до 0.52 (3-й год), у бобовой – до 0.78 и до 0.67 соответственно по годам, очевидно в связи с постепенным выпадением клевера из травостоя.

Обработка семян ячменя микробным препаратом, усиливающим ассоциативную азотфиксацию, не влияла на азотфиксирующую способность смеси клевера и люцерны с тимофеевкой в течение первых 2-х лет жизни, в 3-й год отмечена тенденция к уменьшению $K_{\text{ф}}$ на фоне последствия биопрепарата в среднем в зависимости от

систем удобрения с 0.52 до 0.49. Бобовая травосмесь, наоборот, под влиянием этого агроприема несколько усиливала азотфиксацию и K_f возрастал в среднем с 0.76 до 0.79 за счет заметного роста в год посева от 0.79 до 0.89. В последующие годы последствие азоризина не проявлялось (табл. 2, 3).

Следует обратить внимание на то, что азоризин как препарат, предназначенный для усиления ассоциативной азотфиксации в ризосфере зерновых колосовых культур, в годы исследования способствовал повышению устойчивости функционирования бобово-ризобияльного симбиоза изученных травосмесей в стрессовых ситуациях, связанных с погодным фактором. В избыточно влажном 2005 г. (в год посева) на фоне биопрепарата заметно уменьшался отрицательный эффект от применения азота в составе НРК за счет повышения K_f бобовой травосмеси с 0.67 до 0.89 или на 33%. В засушливом 2007 г. при выращивании бобово-злаковой травосмеси 3-го года жизни последствие биопрепарата обеспечивало повышение K_f в этом варианте удобрения с 0.19 до 0.59 или на 210% (табл. 2, 3).

В научной литературе ссылок на подобную реакцию бобового компонента многолетних травосмесей не обнаружено. Поэтому следует продолжать изучение влияния современных микробных препаратов ассоциативной N_2 -фиксации на интенсивность симбиотической азотфиксации в многолетних травянистых агрофитоценозах с высокой долей бобового компонента.

Азот, внесенный совместно с РК, оказывал отрицательное влияние на азотфиксацию в обеих травосмесях в течение всего периода исследования. Под его влиянием K_f бобового компонента бобово-злаковой травосмеси в среднем за 3 года уменьшился с 0.76 до 0.66, бобовой — с 0.82 до 0.72. У смеси клевера и люцерны с тимopheевкой снижение K_f в наибольшей степени проявлялось во 2-й и 3-й годы жизни, когда его величина уменьшилась в среднем с 0.82 и 0.50 в варианте РК до 0.67 и до 0.39 при последствии НРК. У смеси клевера с люцерной способность к азотфиксации от внесения азота удобрений снижалась уже в год посева в среднем с 0.82 до 0.78. Во 2-й и 3-й годы жизни травосмеси отмеченная тенденция имела аналогичную направленность (табл. 2, 3).

Следовательно, при повышенной и высокой обеспеченности почвы подвижным фосфором и содержании K_2O в пахотном слое не меньше среднего уровня обеспеченности при выращивании современных бобовых и бобово-злаковых травосмесей с высокой долей бобового компонента не-

обходимо избегать применения азота минеральных удобрений в начале травяных звеньев полевых севооборотов в дозах от N_{60} и больше вследствие его негативного действия на количественные параметры N_2 -фиксации и снижения урожайности надземной массы.

Размеры накопления симбиотически связанного азота в надземной массе и в пожнивно-корневых остатках обеих травосмесей соответствовали величинам урожайности, доле бобового компонента и N_2 -фиксирующей способности. В урожае сухой массы смеси клевера и люцерны с тимopheевкой в сумме за 3 года пользования травостоем в зависимости от изученных технологических факторов накапливалось от 182 до 304 кг $N_{биол.}/га$, в том числе во 2-й год пользования — 114–203 кг/га или 52–67% от суммы, в ПКО — от 99 до 164 кг/га. Верхний предел отмеченного диапазона характерен для вариантов с внесением фосфорно-калийного удобрения, обеспечивших получение наибольшей урожайности надземной массы, растительных остатков и максимальные величины коэффициентов азотфиксации, нижний — для вариантов с НРК. Обработка семян ячменя биопрепаратом не оказывала влияния на размеры накопления биологического азота в надземной массе и в ПКО, которые в среднем составляли соответственно 253 и 249, 137 и 127 кг/га (табл. 2).

В надземной массе смеси клевера с люцерной в сумме за 3 года накапливалось от 248 до 399 кг $N_{биол.}/га$, в том числе во 2-й год жизни — 146–221 кг/га (50–55%) от суммы. В пожнивно-корневых остатках при этом аккумулировалось от 165 до 230 кг $N_{биол.}/га$. Применение удобрений не влияло на величины изученных показателей, максимум которых отмечен в контрольном варианте без удобрений. Как и у предыдущей травосмеси применение азотного удобрения совместно с РК приводило к существенному уменьшению накопления симбиотически связанного азота в урожае надземной массы и в ПКО. Азоризин (штамм 8) способствовал небольшому росту накопления биологического азота в надземной массе главным образом только в контрольном варианте (на 6%) за счет положительной реакции растений в 1-й и во 2-й годы жизни травосмеси (табл. 3).

В соответствии с вышеизложенным, максимальное количество $N_{биол.}$, вовлеченное в малый биологический круговорот при выращивании тройной бобово-злаковой и двойной бобовой травосмесей в течение 3-х лет, составило в среднем соответственно 622 кг/га (606–625 кг/га) и отмечено в варианте Р60К60 и в контроле без удобрений. Наименьшее накопление, равное

312 кг/га (281–342 кг/га) и 418 кг/га (400–436 кг/га), отмечено в вариантах с внесением перед посевом N60P60K60. Необходимо обратить внимание на то, что в последнем случае обработка семян ячменя препаратом азоризин способствовала стабилизации размеров поступления $N_{\text{биол}}$ в малый биологический круговорот в основном за счет комплексного положительного влияния его на урожайность и способность к N_2 -фиксации. Тем не менее, величины этого показателя были намного (27 и 28%) меньше достигнутого максимума в оптимальных вариантах удобренности.

ВЫВОДЫ

1. На среднекультуренной дерново-подзолистой суглинистой почве Центрального Нечерноземья урожайность зерна покровного ячменя под влиянием погодного фактора изменялась в среднем от 1.05 т/га (ГТК 1.75) до 3.21 т/га (ГТК 1.25). Преимущество бобового предшественника (пелюшка на зерно) проявлялось лишь при нормальном увлажнении (прибавка 7% к урожаю после яровой пшеницы). Препарат азоризин (штамм 8) не оказывал влияния на урожайность зерна во все годы исследования.

2. Основным фактором формирования высокой урожайности покровного ячменя и уменьшения негативного влияния погоды являлось применение удобрений. Внесение P60K60 с осени под зябь повышало урожайность зерна к контролю на 40% в неблагоприятных и на 5% в благоприятных условиях увлажнения. Азот в составе NPK способствовал росту урожайности к фону PK в зависимости от условий увлажнения соответственно на 250 и 68%, применение полного минерального удобрения увеличивало урожайность по сравнению с контролем без удобрения – на 390 и 77%.

3. Общая за 3 года урожайность надземной массы травосмесей (5 укосов) составляла в среднем 14.5–15.2 т/га с небольшим преимуществом (4%) бобово-злаковой травосмеси. Максимальная урожайность последней (16.8 т/га) создавалась при внесении P60K60 без применения биопрепарата, а получение урожая сухой массы клевера с люцерной 16.5 т/га обеспечивалось без удобрений при применении препарата азоризин. Азот в составе полного удобрения оказывал отрицательное влияние на урожайность травосмесей, уменьшая ее величину в сравнении с максимальной на 11% – бобово-злаковой и на 19% – бобовой смеси.

4. Азоризин (штамм 8) сглаживал отрицательное влияние азота на урожайность травосмесей.

Однако при этом ее величины даже не приближались к достигнутым максимальным показателям, равным 15.3 и 14.0 т/га соответственно для бобово-злаковой и бобовой травосмесей.

5. Размеры накопления сухой массы растительных остатков в почве и общей биомассы изученных травосмесей в лучших вариантах составляли соответственно 12.8–13.1 и 29.2–29.4 т/га. При этом в малый биологический круговорот вовлекалось общего азота до 750 кг/га при возделывании бобовой и до 620 кг N/га – бобово-злаковой травосмеси.

6. Достигнутый уровень фосфорно-калийного питания в годы возделывания травосмесей не ниже 4-го и 3-го классов обеспеченности по принятым градациям способствовал проявлению высокой N_2 -фиксирующей способности. В лучших по урожайности вариантах $K_{\text{ф}}$ в среднем составляли 0.82 – бобовой и 0.76 – бобово-злаковой травосмеси с максимумом в год посева, равным 0.92 и 0.84 соответственно. С возрастом травосмесей величины $K_{\text{ф}}$ постепенно уменьшались и достигали минимума к середине 3-го года жизни – 0.73 и 0.51 в связи с выпадением клевера из травостоя.

7. Азот в составе NPK, как в прямом действии, так и в последствии, способствовал уменьшению азотфиксирующей способности травосмесей в течение всего периода исследования. Наиболее заметное снижение отмечено в 3-й год жизни: бобово-злаковой травосмеси – с 0.56 до 0.19, бобовой – с 0.73 до 0.59. При применении препарата азоризин наблюдали тенденцию к смягчению отрицательного влияния азота, наиболее выраженную для бобовой травосмеси в год посева, для бобово-злаковой – в 3-й год жизни.

8. С пожнивно-корневыми остатками к распашке пласта многолетних трав изученного состава в лучших по урожайности вариантах бобово-злаковой травосмеси в почву поступало более 160 кг $N_{\text{биол}}$ /га и в вариантах двойной бобовой смеси – до 250 кг/га. Общее вовлечение симбиотически связанного азота в малый биологический круговорот, включая и $N_{\text{биол}}$ в отчуждаемой с поля товарной части урожая, составляло для травосмесей порядка 470 и 630 кг/га соответственно.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Агропромышленный комплекс России в 2016 году. М., 2017. 560 с.
2. Андреев С.И., Еремин С.А. Многолетние травы: новый взгляд и новые возможности // Агро XXI. 2000. № 11. С. 19–22.
3. Халыгина Е.И. Конкурентоспособность трав в агрофитоценозах с разнопоспевающими сортами

- клевера лугового // Информ. листок Киров. ЦНТИ. 2000. № 24-026-00. 3 с.
4. Литвинова А.Б. Долголетие и устойчивость травостоев различных сортов клевера лугового // Научное обеспечение аграрного производства в современных условиях. Сб. мат-лов Международ. науч.-практ. конф. посвящ. 35-летию Смоленской ГСХА. Ч. 1. Смоленск, 2010. С. 189–192.
 5. Парахин Н.В., Антонов И.В., Петрова С.Н. Эффективность травосмеси для создания культурных пастбищ в среднерусской лесостепи // Кормопроизводство. 2007. № 12. С. 30–33.
 6. Лазарев Н.Н., Стародубцева А.М., Пятницкий Д.В. Продуктивность различных сортов люцерны российской и голландской селекции в Московской области // Кормопроизводство. 2014. № 2. С. 19–22.
 7. Методические указания по проведению опытов с кормовыми культурами. М.: РАСХН, 1997. 192 с.
 8. Милащенко Н.З. Программа и методика исследований в Географической сети опытов по комплексному применению средств химизации в земледелии. М., 1990. 187 с.
 9. Трепачев Е.П. О методике исследования азотного баланса почвы в длительных опытах // Почвоведение. 1976. № 3. С. 137–149.
 10. Станков Н.З. Корневая система полевых культур. М.: Наука, 1964. 56 с.
 11. Трепачев Е.П., Алейникова Л.Д. Влияние пожнивно-корневых остатков и неучтенного органического вещества люцерны и костреца безостого на плодородие почвы // Почвоведение. 1982. № 4. С. 120–127.

Yield and Nitrogen-Fixing Capacity of Modern Perennial Multitraum Mixtures Depending on Technological Factors of Cultivation in the Central Non-Black Earth Region

V. V. Kononchuk^{a, #}, V. D. Shtyrkhunov^a, G. V. Blagoveshchensky^a, S. M. Tymoshenko^a,
T. O. Nazarova^a, and S. V. Sobolev^a

^a Federal Research Center “Nemchinovka”

ul. Agrohimiikov 6, Moscow Region, Odintsovo District, r.p. Novoivanovsky 143026, Russia

[#] E-mail: vadimkononchuk@yandex.ru

On moderately cultivated sod-podzolic soil, with a supply of phosphorus 190–230 mg/kg and potassium 86–110 mg/kg, the collection of absolutely dry matter of total biomass of double legume and triple legume-grass mixtures reached about 30 tons in crop rotation/ha, including about 17 t/ha (59%) of the commodity part and was created respectively without fertilizers and with the systematic introduction of P60K60. In these variants, the contribution of total biomass nitrogen to the small biological cycle was 750 and 620 kg/ha, fixed – 630 and 470 kg/ha (84 and 76%). Nitrogen in the composition of full fertilizer reduced the yield of biomass, the accumulation of total and biological nitrogen, the nitrogen-fixing ability of the bean component during the entire period of research. The biologically active drug Azorizin (pcs 8) did not affect the yield of the cover barley, but mitigated the negative effect of fertilizer nitrogen on nitrogen fixation, increasing the K_f of the leguminous mixture, especially in the 1-st, legume-cereal, in the 3-rd year of life. With stubble-root residues of grass mixtures, up to 13 t/ha of dry organic matter came into the soil, and up to 220–270 kg/ha of total and up to 160–230 kg/ha of symbiotic nitrogen, depending on the composition.

Key words: yield, nitrogen-fixing capacity, modern perennial multitraum Mixtures, technological factors of cultivation, Central Non-Black Earth Region.