

УДК 631.559:631.461.5:633.2:631.461.1/5(470.31)

УРОЖАЙНОСТЬ, АЗОТФИКСИРУЮЩАЯ СПОСОБНОСТЬ МНОГОЛЕТНИХ ТРАВ РАЗЛИЧНОГО ВИДОВОГО СОСТАВА И ПОСТУПЛЕНИЕ СИМБИОТИЧЕСКИ СВЯЗАННОГО АЗОТА В МАЛЫЙ БИОЛОГИЧЕСКИЙ КРУГОВОРОТ 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 Московский научно-исследовательский институт сельского хозяйства “Немчиновка”
143026 Московская обл., Одинцовский р-н, р.п. Новоивановское, ул. Калинина, 1, Россия

*E-mail: vadimkonochuk@yandex.ru

Поступила в редакцию 09.04.2018 г.

После доработки 10.05.2018 г.

Принята к публикации 12.10.2018 г.

В травяном звене полевого севооборота установлена высокая эффективность усовершенствованного состава многолетних мультитравосмесей за счет расширения их видового разнообразия. Комплектование травосмесей на основе подбора видов, отличающихся темпами развития и соответственно сроками созревания, обеспечило увеличение урожайности в сравнении с одновидовыми посевами и традиционной бобово-злаковой смесью (клевер + тимофеевка) в среднем на 22–43%, повышало устойчивость полевого кормопроизводства в годы использования травостоя и его продуктивного долголетия. Возрастала и стабилизировалась на более высоком уровне ($K_{\phi} = 0.70–0.75$) азотфиксирующая способность бобовых видов. При общей за 3 года урожайности сухой надземной массы 20–25 т/га в вариантах чистого посева клевера лугового, двойных бобовых смесей с его участием, а также смесей клевер + тимофеевка, люцерна + тиморфеевка и тройных смесей с участием люцерны и козлятника восточного в малый биологический круговорот было вовлечено азота: общего — до 700–800 и симбиотически связанного — до 500–600 кг/га. С пожнивно-корневыми остатками в почву поступало сухой органической массы до 10.5–18.5 т/га, а с ней фиксированного азота атмосферы — до 100–160 кг/га.

Ключевые слова: урожайность, азотфиксирующая способность, многолетние травы, видовой состав, симбиотически связанный азот, малый биологический круговорот, Центральное Нечерноземье.

DOI: 10.1134/S0002188119010046

ВВЕДЕНИЕ

Многолетние бобовые травы и бобово-злаковые травосмеси имеют большое значение в полевом кормопроизводстве и земледелии Центрального Нечерноземья как источник дешевых и высококачественных объемистых кормов для молочного животноводства, с одной стороны, и как инструмент комплексного положительного воздействия на плодородие корнеобитаемого слоя почвы, с другой стороны.

Традиционно используемый для этого клевер луговой и бобово-злаковые смеси с его участием в настоящее время не вполне удовлетворяют потребностям современного животноводства и земледелия, поскольку не обеспечивают стабильно высокого и длительного продуктивного долголетия травостоев, качественных характеристик

приготавливаемых из них объемистых кормов. Их возделывание зачастую не способствует улучшению азотного питания последующих озимых и яровых зерновых культур без дополнительного применения промышленных азотных удобрений [1–6].

Поэтому выявление условий и способов увеличения продуктивного долголетия многолетних трав, повышения качества надземной биомассы и усиления положительного влияния на азотный режим зональных почв является важной народнохозяйственной задачей на современном этапе развития сельскохозяйственного производства в Нечерноземной зоне России.

Пути ее решения просматриваются в расширении видового разнообразия полевых агрофитоценозов за счет внедрения в состав наряду с клевером и тимофеевкой также и других видов, характеризу-

ющихся замедленным развитием и, соответственно, повышенным продуктивным долголетием, например люцерны пестрогибридной, козлятника восточного, лядвенца рогатого.

В связи с вышеизложенным определенный научный и практический интерес представляют результаты исследований, проведенных авторами в травяном звене 7-польного зернотравяного севооборота, по установлению влияния многолетних бобовых и бобово-злаковых трав на урожайность, накопление растительных остатков и азота в них в зависимости от видового состава.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в длительном стационарном полевом опыте, заложенном на опытном участке НИИСХ ЦРНЗ (в настоящее время — Московский НИИСХ “Немчиновка”), расположенном в Одинцовском р-не Подмосковья. Почва — дерново-подзолистая среднесуглинистая на моренном суглинке. Ко времени посева многолетних трав весной 2003 г. в пахотном слое 0–20 см почвы содержалось: гумуса — 1.91%, подвижного фосфора и калия (по Кирсанову) — 189 и 170 мг/кг соответственно, pH_{KCl} 5.5.

Схемой опыта предусматривалось возделывание в течение 3-х лет следующих вариантов многолетних трав и травосмесей, высеваемых под Покров ячменя сорта Эльф: 1 — клевер луговой, 2 — люцерна пестрогибридная, 3 — лядвенец рогатый, 4 — козлятник восточный, 5 — клевер + люцерна, 6 — клевер + лядвенец, 7 — клевер + козлятник, 8 — клевер + тимopheевка луговая, 9 — люцерна + тимopheевка, 10 — лядвенец + тимopheевка, 11 — козлятник + тимopheевка, 12 — клевер + люцерна + тимopheевка, 13 — клевер + лядвенец + тимopheевка, 14 — клевер + козлятник + тимopheевка, 15 — тимopheевка луговая (в качестве культуры сравнения для расчета азотфиксирующей способности (коэффициента N_2 -фиксации) многолетних бобовых и бобово-злаковых трав в зависимости от состава травосмеси). Многолетние травы высевали также под Покров ячменя сорта Раушан с использованием сортов: клевер луговой — ВИК 7, люцерна пестрогибридная — Вега, лядвенец рогатый — Луч, козлятник восточный — Гале, тимopheевка луговая — ВИК 85.

Посев проводили в лучшие агротехнические сроки семенами, обработанными раствором молибденово-кислого аммония, рядовой сеялкой точного высева СН-16. Урожайность учитывали в начале цветения клевера лугового поделочно вручную. В год посева укоса не получено. Во 2-, 3- и 4-й годы жизни трав проведено соответственно

3, 2 и 1 укос (всего 6). Общая площадь делянки — 75 м², повторность четырехкратная.

В процессе исследования использовали методические рекомендации ВИК [7], при статистической обработке результатов учета урожая надземной массы — методику [8]. Массу пожнивных остатков и корней определяли по методике [9], N_2 -фиксирующую способность многолетних бобовых трав — по методу сравнения с небобовой культурой, предложенному в работе [10]. Агрохимические анализы почвы и растений выполняли по методикам и ГОСТам, принятым в Агрохимической службе, в аккредитованной лаборатории массовых анализов института.

Метеорологические условия вегетационных периодов (20 апреля–20 сентября), по данным АМС “Немчиновка”, в целом способствовали формированию высокой урожайности, но избыточное увлажнение в течение мая–июля 2005 г. оказывало негативное воздействие на азотфиксирующую способность многолетних бобовых трав.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что в сложившихся условиях возделывания наиболее высокой урожайностью сухой массы в блоке вариантов одновидовых посевов как в сумме за 3 года, так и в отдельные годы, выделялся клевер луговой — 208 ц/га. За ним в порядке убывания располагались варианты с люцерной и козлятником — 172 и 166 ц/га. Замыкал ряд лядвенец рогатый с урожайностью 147 ц/га. Если у клевера лугового половина общего сбора сухой массы приходилась на 1-й год пользования, то у люцерны и козлятника — на 2-й год. Лядвенец рогатый обеспечивал получение близкой урожайности в годы использования, но меньшего уровня. Той же закономерности подчинялись и размеры накопления общего и фиксированного из атмосферы азота в надземной биомассе, величины которых находились в соответствии с достигнутой урожайностью: 602, 460–480 и 394 кг/га; 450, 308–329 и 242 кг/га соответственно.

Наиболее высоким коэффициентом азотфиксации (отношением количества симбиотически связанного азота к количеству общего азота в биомассе) (K_{ϕ}) выделялся клевер луговой: в среднем за 3 года K_{ϕ} составил 0.75. У козлятника и люцерны его величина уменьшалась до 0.67–0.68, а у лядвенца рогатого — до 0.61. У всех изученных видов многолетних бобовых трав наибольший K_{ϕ} зафиксирован в 1-й год пользования: от 0.89 в варианте с клевером луговым до 0.78–0.80 у остальных видов. Избыточное увлажнение во 2-й год

Таблица 1. Влияние видового состава многолетних бобовых трав на продуктивность и азотфиксирующую способность (2004–2006 гг.)

Показатель	Видовой состав многолетних трав				
	клевер луговой	люцерна пестрогибридная	лядвенец рогатый	козлятник восточный	тимофеевка луговая
Сухая надземная биомасса, ц/га					
всего	208	172	147	166	128
в 1-й год пользования	102	60.6	63.5	49.7	34.1
во 2-й год пользования	90.4	90.6	66.1	98.5	82.7
в 3-й год пользования	15.0	20.5	17.0	19.1	11.2
Общий и фиксированный азот в урожае, кг/га*					
всего	602/450	481/329	394/242	460/308	152
в 1-й год пользования	295/262	158/125	162/129	148/115	33
во 2-й год пользования	260/154	251/145	179/73	250/144	106
в 3-й год пользования	47/34	72/59	53/40	62/49	13
Коэффициент N ₂ -фиксации за 3 года	0.75	0.68	0.61	0.67	—
в 1-й год пользования	0.89	0.79	0.80	0.78	—
во 2-й год пользования	0.59	0.58	0.41	0.58	—
в 3-й год пользования	0.72	0.82	0.76	0.79	—
Масса ПКО, перед распахкой пласта, ц/га**	74.4/58	105/79	89.6/77	173/83	—
Общий и фиксированный азот в ПКО, кг/га*	136/102	195/132	154/94	341/228	—
Суммарная масса органического вещества за 3 года, ц/га	282	277	236	338	—
Азот общий и фиксированный в круговороте, кг/га*	738/552	676/461	520/336	801/536	—

* Над чертой — N_{общ}, под чертой — N_{фикс}. То же в табл. 2–4.

** Над чертой — масса ПКО, под чертой — доля корней, %. То же в табл. 2–4.

пользования отрицательно влияло на функционирование бобово-ризобияльного симбиоза и приводило к уменьшению K_f до 0.41–0.59, особенно в варианте с лядвенцем рогатым (табл. 1).

Подобная реакция многолетних трав в одно-видовых и смешанных посевах на неблагоприятные условия увлажнения в Московском регионе отмечена в работе [6]. Нормальные условия увлажнения в 3-й год использования травостоев способствовали возвращению азотфиксирующей способности практически к уровню 1-го года.

Масса органического вещества пожнивных корневых остатков (ПКО) в слое почвы 0–30 см к распахке пласта многолетних трав в середине 3-го года пользования с поправкой на полноту учета,

равную 2 [11], в зависимости от вида составляла 74.4–173 ц/га. Нижний предел представленного диапазона был характерен для варианта с клевером луговым, верхний — для козлятника восточного. Люцерна и лядвенец с величинами ПКО, равными 105 и 89.6 ц/га, занимали промежуточное положение.

От 58 до 77–83% общей биомассы ПКО приходилось на корни и от 17–23 до 42% — на пожнивных остатки. В варианте с клевером луговым их соотношение было практически равным, в остальных масса корней заметно преобладала.

В соответствии с массой ПКО и коэффициентами азотфиксации накопление общего и биологического азота в них находилось в диапазоне

136–341 и 94–228 кг/га соответственно. При этом максимальными показателями, равными 341 и 228 кг/га, выделялся вариант с козлятником восточным, наименьшими по содержанию общего азота — клевер луговой, биологического азота — лядвенец рогатый.

Из всех вариантов этой группы трав наиболее высокими величинами накопления суммарной массы органического вещества и общего азота в ней выделялся вариант с козлятником восточным — 338 ц/га и 801 кг N/га. На втором месте располагался клевер луговой — 282 ц/га и 738 кг N/га, за ним люцерна пестрогибридная и лядвенец рогатый — 277 ц/га и 676 кг N/га, 236 ц/га и 520 кг N/га. По величине накопления симбиотически связанного азота в общей биомассе, поступающей в малый биологический круговорот, выделялись варианты клевера лугового и козлятника восточного — 552 и 536 кг N/га. Люцерна и особенно лядвенец отличались меньшими величинами: 461 и 336 кг N/га соответственно.

Следовательно, в блоке вариантов одновидовых посевов многолетних трав по комплексу показателей продуктивности при трехлетнем использовании травостоев и азотфиксирующей способности предпочтительнее выглядели варианты с клевером луговым, люцерной пестрогибридной и козлятником восточным: 208–166 ц/га, 600–460 кг N/га, 0.78–0.67 соответственно. Однако по продуктивному суммарной биомассы с лучшей стороны зарекомендовал себя козлятник восточный — 338 ц/га, по накоплению $N_{\text{биол}}$ — клевер и козлятник (552 и 536 кг/га соответственно). О больших возможностях использования козлятника восточного для обеспечения высококачественными объемистыми кормами молочного животноводства Верхневолжья и обогащения почв региона биологическим азотом указано в работе [5].

Люцерна пестрогибридная по суммарной массе органического вещества приближалась к клеверу луговому, но по накоплению биологического азота в ней заметно отставала (–91 кг/га). Лядвенец рогатый по этим показателям оказался менее привлекательным. Тем не менее, способность произрастать на кислых почвах и формировать экономически значимые урожаи делает его незаменимым в этих условиях.

Урожайность сухой надземной массы двойных бобовых смесей клевера лугового с люцерной, лядвенцем и козлятником как в отдельные годы, так и в сумме за 3 года пользования травостоем в среднем на 20% превосходила аналогичные величины в одновидовых посевах и в зависимости от состава варьировала в узком диапазоне 201–216 ц/га.

При этом на 1-й и 2-й годы пользования приходилось 40–41 и 43–49% общего сбора сухой надземной массы, что свидетельствовало о высокой устойчивости по годам.

Изученные травосмеси в сравнении с одновидовыми посевами накапливали в биомассе больше общего и биологического азота — 556–592 и 404–440 кг/га против 394–602 и 152–450 кг/га — с небольшим преимуществом смеси клевера с люцерной (табл. 2). Судя по величинам K_f , их азотфиксирующая способность возрастала и приобретала стабильность за счет наличия в составе клевера лугового. Характер динамики этого показателя во времени имел аналогичную направленность с одновидовыми посевами изученных бобовых трав.

В отличие от вариантов предыдущей группы посевов двойные сочетания бобовых видов оставляли в почве меньше ПКО при заметном снижении массы корней. Среди них практически равными величинами 102–103 ц/га выделялись смеси клевера с люцерной и клевера с козлятником. Лядвенец рогатый в смеси с клевером отличался наименьшей массой ПКО, равной ≈ 78 ц/га.

В соответствии с отмеченными особенностями изменения количественных параметров накопления в почве ПКО и азотфиксирующей способности двойных бобовых смесей на основе клевера лугового в них накапливалось от 124 до 210 кг/га — общего и 91–156 кг/га — фиксированного азота, причем нижний порог отмеченных диапазонов был характерен для смесей с участием лядвенца рогатого. В лучшую сторону выделялись смеси клевера лугового с люцерной и с козлятником, в ПКО которых накапливалось до 140–160 кг $N_{\text{биол}}$ /га. Расчеты показали, что при усвоении порядка 25% азота (как и из навоза) последующей зерновой культурой прибавка урожайности за счет дополнительного поступления $N_{\text{биол}}$ может достигать от 10 до 16 ц/га.

В целом размеры суммарной массы органического вещества, количества общего и симбиотически связанного азота в ней, поступающие в малый биологический круговорот, были достаточно высокими и в зависимости от состава травосмесей составляли 279–319 ц/га, 680–802 кг/га и 495–596 кг/га, превышая соответствующие показатели в одновидовых посевах в среднем на 6, 9 и 16%.

Таким образом, преимущество выращивания двойных смесей многолетних бобовых трав в севооборотах Нечерноземья перед одновидовыми посевами заключается в возможности получения более высоких и устойчивых по годам урожаев надземной биомассы, обогащенной биологиче-

Таблица 2. Влияние видового состава двойных бобовых травосмесей на продуктивность и азотфиксирующую способность (2004–2006 гг.)

Показатель	Видовой состав травосмесей		
	клевер + люцерна	клевер + лядвенец	клевер + козлятник
Сухая надземная биомасса, ц/га			
всего	216	201	203
в 1-й год пользования	88.7	80.6	83.1
во 2-й год пользования	93.0	94.4	99.8
в 3-й год пользования	34.7	27.1	20.4
Общий и фиксированный азот в урожае, кг/га*			
всего	592/440	556/404	556/404
в 1-й год пользования	245/212	224/191	234/201
во 2-й год пользования	241/135	253/147	261/155
в 3-й год пользования	106/93	79/66	61/48
Коэффициент N ₂ -фиксации за 3 года	0.74	0.73	0.73
в 1-й год пользования	0.86	0.85	0.86
во 2-й год пользования	0.39	0.58	0.59
в 3-й год пользования	0.88	0.84	0.79
Масса ПКО перед распашкой пласта, ц/га**	102/67	77.6/67	103/65
Общий и фиксированный азот в ПКО, кг/га*	210/156	124/91	190/139
Суммарная масса органического вещества за 3 года, ц/га	319	279	307
Азот общий и фиксированный в круговороте, кг/га	802/596	680/445	746/543

ским азотом за счет повышенной азотфиксирующей способности. Масса ПКО ненамного превышала аналогичные величины в чистых посевах, но по приходу в почву и в малый биологический круговорот фиксированного из атмосферы азота — существенно превосходила.

В группе двойных бобово-злаковых смесей выделялись варианты клевера с тимофеевкой и люцерны с тимофеевкой, обеспечившие получение в сумме за 3 года использования травостоев сухой массы 246–249 ц/га, что на 13–15% превышало аналогичную величину в лучшем варианте среди двойных бобовых смесей — клевер + люцерна. Смесью лядвенца с тимофеевкой по этому показателю вполне сопоставима со смесью клевера с люцерной, а смесь с участием козлятника и тимофеевки занимала последнее место — 168 ц/га, или на 17% меньше в сравнении с вариантом клевер + козлятник (табл. 3). Во всех вариантах двойных бобово-злаковых смесей отмечено постепенное увеличение урожайности от 1-го ко 2-му году пользования с 28–38% от суммы за 3 года до 48–54%. Наибольший относительный прирост уро-

жайности с 28–32 до 53–54% отмечен в вариантах смесей тимофеевки луговой с лядвенцем рогатым и козлятником восточным за счет злакового компонента, доля которого в травосмесях при этом увеличивалась с 43–46% в 1-й год пользования до 53–56% во 2-й. Содержание бобового компонента при этом, наоборот, уменьшалось с 55–56 до 44–45% соответственно по годам и свидетельствовало о низкой конкурентной способности этих видов вследствие их замедленного развития.

Размеры накопления азота, как в общем урожае надземной массы, так и в отдельные годы, находились в соответствии с величинами урожайности. Наибольшими величинами 552–569 кг/га отличались травосмеси тимофеевки и с клевером, и с люцерной. В вариантах смесей тимофеевки с лядвенцем и козлятником его величины уменьшались до 343–409 кг/га. В том же направлении изменялось и накопление биологического азота в урожае, которое рассчитывали с учетом его присутствия в злаковом компоненте [12]: 344–394 и 167–203 кг/га.

Таблица 3. Влияние видового состава двойных бобово-злаковых смесей на продуктивность и азотфиксирующую способность (2004–2006 гг.)

Показатель	Видовой состав травосмесей			
	клевер + + тимopheевка	люцерна + + тимopheевка	лядвенец + + тимopheевка	козлятник + + тимopheевка
Сухая надземная биомасса, ц/га				
всего	246	249	212	168
в 1-й год пользования	92.6	86.4	68.1	47.8
во 2-й год пользования	118	120	113	91.2
в 3-й год пользования	35.4	42.4	31.0	29.1
Общий и фиксированный азот в урожае, кг/га*				
всего	569/394	552/344	409/203	343/167
в 1-й год пользования	256/234	219/174	144/115	104/76
во 2-й год пользования	246/116	227/80	202/44	166/30
в 3-й год пользования	67/44	106/90	63/44	73/61
Коэффициент N ₂ -фиксации за 3 года	0.69	0.62	0.50	0.49
в 1-й год пользования	0.91	0.80	0.80	0.73
во 2-й год пользования	0.47	0.35	0.22	0.18
в 3-й год пользования	0.66	0.85	0.70	0.84
Масса ПКО перед распахкой пласта, ц/га**	143/73	177/81	164/79	163/82
Общий и фиксированный азот в ПКО, кг/га*	152/105	211/131	216/129	164/81
Суммарная масса органического вещества за 3 года, ц/га	389	426	375	331
Азот общий и фиксированный в круговороте, кг/га*	721/499	763/475	625/332	507/248

В сложившихся условиях возделывания наиболее высокой азотфиксирующей способностью отличались травосмеси в 1-й год пользования, K_f при этом в зависимости от состава изменялся от 0.73–0.80 в смесях тимopheевки с козлятником и с лядвенцем, до 0.80–0.91 в ее смесях с люцерной и с клевером.

Неблагоприятные условия функционирования бобово-ризобияльного симбиоза во 2-й год, обусловленные избыточным увлажнением, оказывали негативное воздействие на азотфиксирующую способность всех травосмесей этой группы. Коэффициенты азотфиксации уменьшились практически на 50% в вариантах смесей тимopheевки с клевером и с люцерной и составляли 0.47–0.35, а в смесях лядвенца с тимopheевкой и козлятника с тимopheевкой – в 2.5–2.8 раза, или до 0.22–0.18. В 3-й год пользования азотфиксирующая способность всех изученных травосмесей, за исключением клеверо-тимopheечной, восстанавливалась до уровня 1-го года пользования. В последней, по причине старения клевера и существенного уменьшения его доли в травостое (до 47%),

K_f находился на уровне 0.66 против 0.70–0.85 для остальных смесей.

С учетом отмеченных особенностей динамики N₂-фиксирующей способности бобового компонента в двойных смесях с тимopheевкой во времени величины K_f в среднем за 3 года были невысокими: от 0.49–0.50 в вариантах смесей тимopheевки с козлятником и лядвенцем до 0.62–0.69 в вариантах клеверо-тимopheечной и люцерно-тимopheечной смесей. Очевидно, для увеличения и стабилизации азотфиксирующей способности козлятника и лядвенца при выращивании их в двойных бобово-злаковых смесях необходимо подбирать менее агрессивный злаковый компонент, например овсяницу луговую, фестулолиум или костреч безостый.

Масса ПКО двойных бобово-злаковых смесей после 6-го укоса в середине 3-го года пользования практически не зависела от состава травосмесей и изменялась от 143 ц/га в варианте клеверо-тимopheечной травосмеси до 163–177 ц/га в остальных вариантах. На долю корней приходилось 73–82%,

в них накапливалось общего азота от 152 до 216 кг/га и фиксированного азота от 129 до 131 кг/га. Наиболее высокими величинами — 211–216 и 129–131 кг/га соответственно — отличались варианты смесей тимopheевки луговой с люцерной и с лядвенцем. Несколько меньше — 152 и 164 кг/га, 81 и 105 кг/га — накапливалось в ПКО с участием клевера и тимopheевки, козлятника и тимopheевки. Это было связано с тем, что к распахке пласта продукционный цикл клевера лугового в смеси практически завершался, а у козлятника еще не вышел на максимум.

В изученной группе травосмесей масса продуцируемого органического вещества с учетом пожнивно-корневых остатков характеризовалась высокими величинами с максимумом в варианте смеси люцерны с тимopheевкой, равным 426 ц/га. Далее в порядке убывания располагались смеси клевера с тимopheевкой (375 ц/га), козлятника с тимopheевкой (331 ц/га). Последняя практически совпадала с аналогичной величиной в одновидовом посеве козлятника восточного.

Несмотря на высокие размеры суммарного накопления органического вещества, количество сосредоточенного в нем общего и симбиотически связанного азота было наименьшим в сравнении с величинами в рассмотренных ранее группах травосмесей — 507–763 и 248–499 кг/га соответственно — в связи с уменьшением в них доли бобового компонента. Приведенные величины находились в соответствии с уровнем накопления органического вещества. При этом в вариантах смесей тимopheевки луговой с клевером и с люцерной накапливалось наибольшее количество азота, как общего, так и биологического — 721–763 и 475–499 кг/га. Смеси тимopheевки с лядвенцем и с козлятником отличались меньшими величинами.

Следовательно, с учетом особенностей формирования и накопления биомассы, азотфиксирующей способности и количественных параметров поступления общего и фиксированного азота в малый биологический круговорот наибольший практический интерес в рассматриваемой группе травосмесей представляли сочетания тимopheевки луговой с люцерной пестрогибридной, с клевером луговым и с лядвенцем рогатым. В условиях Центрального Нечерноземья они не только формировали высокие экономически значимые урожаи сухой надземной массы, но и обеспечивали поступление в малый биологический круговорот фиксированного из атмосферы азота до 300–500 кг/га.

Суммарная за 3 года урожайность сухой массы в вариантах тройных бобово-злаковых смесей, равная 215–244 ц/га, была сопоставима с величинами в лучших сочетаниях предыдущей группы травосмесей. Ее изменения по годам варьировали в довольно узком интервале, что свидетельствовало об их большей стабильности по сравнению с вариантами двойных бобово-злаковых смесей (табл. 4).

По размерам накопления общего и фиксированного азота в надземной массе эти группы травосмесей также очень близки. Азотфиксирующая способность бобового компонента у них больше и составляла в среднем за 3 года 0.66–0.70 за счет присутствия в составе двух бобовых видов, дополняющих друг друга. Этот фактор оказывал положительное влияние на азотфиксацию, ослабляя негативное влияние погодного фактора в стрессовой ситуации. При этом коэффициенты азотфиксации в проблемных вариантах возрастали от 0.18–0.22 до 0.22–0.39 (табл. 3, 4). Особенно заметным было влияние присутствия второго бобового вида (клевера лугового) в варианте с козлятником, где в сравнении с одноименным вариантом предыдущей группы травосмесей существенно возрастала урожайность (+41%), более чем в 2 раза увеличивалось накопление биологического азота — 343 против 167 кг/га. При наличии в тройных смесях 52–67% бобового компонента к распахке пласта в середине 3-го года использования травостоев масса ПКО составляла 157–185 ц/га и на 76–84% состояла из органического вещества корней. В ней накапливалось общего азота от 129 до 214 кг/га и симбиотически связанного азота 73–141 кг/га, что в целом совпадало с аналогичными величинами в группе двойных бобово-злаковых смесей.

Продуцирование органического вещества надземной массы и ПКО изученных травосмесей повышалось в сравнении с вариантами предыдущей группы и составляло в зависимости от состава 401–429 ц/га. Несмотря на это, по величинам накопления общего и биологического азота в биомассе обе группы вполне сопоставимы. Тем не менее, преимущество тройных бобово-злаковых смесей выражалось в меньшей их вариабельности и, соответственно, в большей стабильности изученных показателей (табл. 3, 4).

Таким образом, проведенные сопоставления свидетельствовали о высоких возможностях тройных бобово-злаковых смесей изученного состава по размерам урожайности, накопления в ней фиксированного из атмосферы азота, поступающей в почву массы ПКО. Повышенная доля бобового компонента позволяла оставлять в поч-

Таблица 4. Влияние видового состава тройных бобово-злаковых травосмесей на продуктивность и азотфиксирующую способность (2004–2006 гг.)

Показатель	Видовой состав травосмесей		
	клевер + люцерна + + тимофеевка	клевер + лядвенец + + тимофеевка	клевер + козлятник + + тимофеевка
Сухая надземная биомасса, ц/га			
всего	244	215	237
в 1-й год пользования	93.0	80.0	95.3
во 2-й год пользования	115	100	113
в 3-й год пользования	35.8	34.9	28.6
Общий и фиксированный азот в урожае, кг/га*			
всего	557/389	439/249	519/343
в 1-й год пользования	225/197	191/162	222/198
во 2-й год пользования	242/105	181/40	229/89
в 3-й год пользования	90/87	67/47	68/56
Коэффициент N ₂ -фиксации за 3 года	0.70	0.57	0.66
в 1-й год пользования	0.88	0.85	0.89
во 2-й год пользования	0.43	0.22	0.39
в 3-й год пользования	0.97	0.70	0.82
Масса ПКО перед распашкой пласта, ц/га**	185/78	157/84	178/76
Общий и фиксированный азот в ПКО, кг/га*	168/117	129/73	214/141
Суммарная масса органического вещества за 3 года, ц/га	429	401	415
Азот общий и фиксированный в круговороте, кг/га*	725/506	568/322	733/484

ве органического вещества растительных остатков до 17–19 т/га, содержащих симбиотически связанного азота до 90–140 кг/га, а в малый биологический круговорот поставлять органического вещества до 40–43 т/га и фиксированного азота до 450 кг/га.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На дерново-подзолистых почвах Центра Черноземной зоны РФ среднего уровня окультуренности в целях повышения урожайности и стабилизации ее по годам использования травостоя, увеличения вклада биологического азота в азотный фонд почвы и в малый биологический круговорот в травяных звеньях полевых севооборотов рекомендуется расширение видового состава многолетних трав. Возделывание люцерны пестрогибридной наряду с клевером луговым в одновидовых посевах, двойных бобовых смесях с их участием, а также в двойных и тройных бобово-злаковых смесях обеспечивало получение в условиях полевого эксперимента сухой надземной массы от 170–200 до 240–250 ц/га за 3 года с на-

коплением в ней симбиотически связанного азота до 330–440 кг/га в зависимости от состава смеси.

К распахке пласта в слое 0–30 см почвы накапливалось сухой массы растительных остатков от 100 до 180 ц/га с содержанием азота биологического происхождения от 105 до 160 кг/га. При этом в малый биологический круговорот поступало общей биомассы 280–420 ц/га, общего азота – 680–760 кг/га и симбиотически связанного азота – 460–520 кг/га, что было сопоставимо с аналогичными величинами в вариантах с клевером луговым.

Козлятник восточный также может быть использован для возделывания в травяных звеньях севооборотов, но только в составе смесей с клевером луговым (двойных бобовых) или тройных бобово-злаковых смесей с участием клевера и тимофеевки. Эти сочетания позволили получить при трехлетнем использовании сухой надземной массы 203–240 ц/га с накоплением в ней симбиотически связанного азота от 340 до 400 ц/га.

Смеси с его участием отличались высоким уровнем поступления в почву сухой массы растительных остатков, изменяющейся в зависимости от состава в пределах 103–178 ц/га, в которой на-

капливалось симбиотически связанного азота до 140 кг/га. В целом общее поступление органического вещества в малый биологический круговорот в вариантах изученных смесей достигало 330–415 ц/га с накоплением в них симбиотически связанного азота 480–540 кг/га.

Из всех изученных вариантов одновидовых посевов многолетних бобовых трав и травосмесей варианты с лядвенцем рогатым оказались наименее привлекательными. Они отличались меньшей урожайностью и накоплением общего и фиксированного азота. Азотфиксирующая способность лядвенца рогатого в одновидовом посеве и в смесях выделялась наименьшими величинами (кроме его смеси с клевером луговым). Уступали они и по массе оставляемого в почве органического вещества растительных остатков, по накоплению в них общего и биологического азота.

Тем не менее, смесь лядвенца рогатого с клевером луговым на окультуренных дерново-подзолистых почвах Центра Нечерноземной зоны России может быть рекомендована к возделыванию, как и смесь клевера с козлятником. Их выращивание в опытном посеве обеспечило урожайность сухой массы за 3 года порядка 200 ц/га при накоплении в ней общего и биологического азота в количествах, сопоставимых с вариантом клевер + козлятник. Однако невысокая масса пожнивных-корневых остатков (до 80 ц/га) не способствовала поступлению в почву большого количества биологического азота: не более 90 кг/га, или только 56–85% от аналогичных величин в лучших вариантах с люцерной, клевером и козлятником.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Ольховый В.Е.* Оптимизация видового состава многолетних трав для кормовых целей и воспроизводства плодородия дерново-подзолистой почвы: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: Московский НИИСХ "Немчиновка", 2003. 21 с.
2. *Крамаренко В.Я.* Продуктивность многолетних трав и травосмесей при различных уровнях минерального питания и способах посева в условиях лесостепных агроландшафтов Южного Урала: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. Челябинск, 2009. 20 с.
3. *Мосин С.В.* Формирование высокопродуктивных травостоев длительного пользования в Центральном районе Нечерноземной зоны на основе совершенствования режимов скашивания козлятника восточного: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М., 2009. 22 с.
4. *Лукашов В.Н., Петракова В.Ф., Исаков А.Н.* Значение многолетних трав в сохранении плодородия и повышения эффективности использования почв легкого механического состава // Тр. регион. науч.-практ. конф. "Научные основы повышения эффективности систем земледелия и растениеводства". Калуга, 2011. С. 72–77.
5. *Эседуллаев С.Т.* Козлятник восточный как предшественник зерновых и технических культур в севооборотах Верхневолжья // Зерн. хоз-во России. 2014. № 5. С. 63–67.
6. *Стародубцева А.М.* Влияние инокуляции и минеральных удобрений на продуктивность и устойчивость многолетних бобовых и злаковых трав в одновидовых посевах и травосмесях: Автореф. дис. ... канд. с.-х. наук. М.: РГАУ–МСХА, 2017. 22 с.
7. *Методика опытов на сенокосах и пастбищах.* М.: ВНИИК, 1971. Т. 4. № 1. 232 с.
8. *Доспехов Б.А.* Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований). М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
9. *Станков Н.З.* Корневая система полевых культур. М.: Колос, 1964. 279 с.
10. *Трепачев Е.П.* О методах исследования азотфиксирующей способности бобовых культур // Агрохимия. 1981. № 1. С. 26–31.
11. *Трепачев Е.П.* Биологический азот бобовых: вклад в плодородие почвы и урожайность зерновых культур // Сел.-хоз. биол. 1987. № 1. С. 26–31.
12. *Трепачев Е.П.* Особенности азотного питания бобовых и злаковых растений в чистом и смешанном посеве. Аллелопатический потенциал // Агрохим. аспекты биол. азота в совр. земледелии. М.: Агроконсалт, 1999. Разд. 3.1.6. С. 177–192.

Yield, Nitrogen-Fixing Ability of Perennial Grasses of Different Species Composition and the Supply of Symbiotically Bound Nitrogen in a Small Biological Cycle in the Central Non-Chernozem Region

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

^a Moscow Federal Research Center "Nemchinovka"

ul. Kalinina 1, Moscow region, Odintsovo district, r.p. Novoivanovsky 143026, Russia

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

Research in the grassy link of field crop rotation established the high efficiency of the improved composition of perennial multi-grass mixtures due to increase of species diversity. The combination of grass mixtures based on the selection of species that differed in the growth rate and, accordingly, the maturation period, ensured a

yield increase in comparison with single-species crops and a traditional legume-cereal mix (clover + timothy), by 22–43% on the average, increased sustainability of field fodder production in years of use of the grass stand and its productive longevity. The nitrogen-fixing ability of legumes increased and stabilized at a higher level ($K_f = 0.70–0.75$). For 3 years, the total yield of dry overground mass in the treatments of pure clover meadow, double bean mixtures with clover, as well as in mixtures of clover + timothy, lucerne + timothy and triple mixtures with alfalfa and Eastern galega was 20–25 t/ha. Inclusion of nitrogen in the small biological cycle was up to 700–800 kg/ha with up to 500–600 kg/ha of symbiologically bound nitrogen. With 10.5–18.5 t/ha of dry organic matter of the stubble-root biomass input of fixed atmospheric nitrogen in soil was up to 100–160 kg/ha.

Key words: yield, nitrogen-fixing ability, perennial grasses, different species composition, supply of symbiotic bound nitrogen, small biological cycle, Central Non-Chernozem Region.