

ВЛИЯНИЕ ФОРМ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ НА ПОТРЕБЛЕНИЕ РАСТЕНИЯМИ АЗОТА ПОЧВЫ И УДОБРЕНИЯ (по данным исследований с ^{15}N)

Н. Н. ЦЫБУЛЬКО

УО «Международный государственный экологический институт им. А. Д. Сахарова»
Белорусского государственного университета,
г. Минск, Республика Беларусь, 220070, e-mail: nik.nik1966@tut.by

И. И. ЖУКОВА

УО «Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка»,
г. Минск, Республика Беларусь, 220050, e-mail: inn0707@bspu.by

(Поступила в редакцию 19.01.2023)

С применением метода изотопной индикации (изотопа ^{15}N) изучено влияние форм азотных удобрений на потребление яровой пшеницей (*Triticum aestivum*) и бобово-злаковой смесью (*Pisum sativum* + *Avena sativa*) азота на дерново-подзолистых супесчаных почвах, определена роль разных источников азотного питания в продукционном процессе.

Установлено, что урожайность зерна яровой пшеницы на 66–75 % и бобово-злаковой смеси на 88–93 % формируется за счет азота почвы. Азот удобрений в большей мере расходуется на образование зерна, чем соломы. В зерне яровой пшеницы концентрируется на автоморфной почве 63–66 % и на глееватой почве 76–77 % от всего поглощенного растениями азота удобрений. На бобово-злаковой смеси эти значения составляют на автоморфной почве 71–87 %, на глееватой почве – 57–68 %. На яровой пшенице наиболее высокий коэффициент использования азота удобрений растениями на автоморфной почве при внесении КАС (47 %). На глееватой почве эти показатели близкие между собой и колеблются в пределах 44–46 %. На бобово-злаковой смеси на автоморфной почве наибольший $\text{КИ}_{\text{уд}}$ при применении карбамида (29 %), на глееватой почве – при применении КАС (33 %). Не установлено существенных различий между формами азотных удобрений по влиянию их на продуктивность яровой пшеницы. При возделывании бобово-злаковой смеси более высокую урожайность зерна на автоморфной почве обеспечивает КАС, а на глееватой почве карбамид.

Ключевые слова: азот почвы, азотные удобрения, формы азота, потребление растениями, коэффициент использования азота.

Using the method of isotope indication (^{15}N isotope), the influence of nitrogen fertilizer forms on the consumption of nitrogen by spring wheat (*Triticum aestivum*) and legume-cereal mixture (*Pisum sativum* + *Avena sativa*) on soddy-podzolic sandy loamy soils was studied, the role of various sources of nitrogen nutrition in the production process was determined.

It has been established that the grain yield of spring wheat is formed due to soil nitrogen by 66–75 % and that of the legume-cereal mixture by 88–93 %. Fertilizer nitrogen is spent on the formation of grain rather than straw. In the grain of spring wheat, 63–66 % of the total fertilizer nitrogen absorbed by plants is concentrated on automorphic soil and 76–77 % on gleyic soil. On a legume-cereal mixture, these values are 71–87 % on automorphic soil, and 57–68 % on gleyic soil. On spring wheat, the highest coefficient of utilization of fertilizer nitrogen by plants on automorphic soil is when UAN is applied (47 %). On gleyic soil, these indicators are close to each other and range from 44 to 46 %. On a legume-cereal mixture on automorphic soil, the highest coefficient of fertilizer utilization was observed with the use of carbamide (29 %), and on gleyic soil – with the use of UAN (33 %). There were no significant differences between the forms of nitrogen fertilizers in terms of their effect on the productivity of spring wheat. When cultivating a legume-cereal mixture, a higher grain yield on automorphic soil is provided by UAN, and by carbamide on gleyic soil.

Key words: soil nitrogen, nitrogen fertilizers, forms of nitrogen, consumption by plants, nitrogen utilization coefficient.

Введение

Азот относится к важнейшим элементам минерального питания растений, а на дерново-подзолистых почвах среди питательных элементов он находится в первом минимуме. Потребность сельскохозяйственных культур в азоте удовлетворяется за счет почвенных запасов и азотных удобрений.

Цикл азота в почве характеризуется постоянными процессами минерализации-иммобилизации, перехода минерального азота в органические азотсодержащие соединения и обратно в результате процессов синтеза и разложения. Взаимодействие этих процессов определяет направленность потоков азота в агроэкосистемах – закрепление в почве, использование растениями и газообразные потери азотистых соединений.

Интенсивность поглощения и включения азота в продукционный процесс определяется совокупностью биогенных и абиогенных факторов превращения азота в почве, биологическими особенностями растений и происходящими в них физиологическими процессами. Исследования азотного питания растений с применением метода изотопной индикации (стабильного изотопа ^{15}N) позволили изучить поведение азота в системе «почва-удобрение-растение», установить роль азота удобрений в формировании урожая по этапам органогенеза и по отдельным структурам растительного организма. Показано [1–4], что несмотря на высокую эффективность азотных удобрений, доля азота почвы в выносе элемента с урожаем обычно выше, чем из удобрений. В исследованиях Г.П. Гамзикова [5] в образовании урожая азот почвы участвовал на 84–85 %, а на долю азота удобрений приходилось около 20 %.

Коэффициенты использования азота удобрений сельскохозяйственными культурами на разных почвах колеблются от 12 до 70 % [6–8]. По обобщенным результатам 289 опытов зарубежных авторов этот показатель в среднем составляет 43 % [9].

Цель настоящей работы – изучить влияние форм вносимых азотных удобрений на потребление растениями яровой пшеницы и бобово-злаковой смеси азота почвы и удобрений на дерново-подзолистых автоморфных и глееватых супесчаных почвах, установить роль разных источников азотного питания в продукционном процессе и физиологическую эффективность азотных удобрений.

Основная часть

Исследования проводили в 2014–2015 годах в полевом стационарном опыте на дерново-подзолистых автоморфной и глееватой супесчаных почвах, сформированных на водно-ледниковых рыхлых супесях. Почвы характеризовались слабокислой и близкой к нейтральной реакцией среды (pH_{KCl} 5,8–6,2), средним содержанием гумуса (2,2–2,4 %), повышенным содержанием подвижных форм фосфора (165–210 мг/кг) и калия (200–221 мг/кг). Содержание минерального азота в пахотном слое в ранневесенний период составляло в среднем 18–19 мг/кг почвы.

Возделывали яровую пшеницу (*Triticum aestivum*) и бобово-злаковую смесь (*Pisum sativum* + *Avena sativa*). Минеральные удобрения вносили перед посевом возделываемых культур в дозах: под яровую пшеницу – $N_{90}P_{90}K_{150}$; под бобово-злаковую смесь $N_{60}P_{60}K_{150}$. Схема опыта включала варианты: 1. Контроль (без удобрений); 2. РК – фон; 3. Фон + N_k 4. Фон + Na ; 5. Фон + Naa ; 6. Фон + НКАС. При обозначении форм азотных удобрений использовали сокращения: N_k – карбамид; Na – сульфат аммония; Naa – селитра аммиачная; НКАС – смесь растворов карбамида и аммиачной селитры (КАС).

Размещение делянок в опыте рендомизированное. Общая площадь делянки 20 м², учетная площадь – 15 м². Повторность вариантов четырехкратная.

В почвенных пробах определяли агрохимические показатели по следующим методикам: гумус – по Тюрину в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26212–91) [10]; $pH_{(KCl)}$ – потенциометрическим методом [11]; подвижные формы фосфора и калия – по Кирсанову [12]; $N-NH_4$ – по ГОСТ 26489-85 [13]; $N-NO_3$ – по ГОСТ 26488-85 [14]. Содержание общего азота в растительных пробах (зерно, солома) определяли по Къельдалю-Иодльбауэру после их мокрого озоления, изотопный состав азота на масс-спектрометре МИ-2101В. Полученные данные обрабатывали методами дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [15] с использованием компьютерного программного обеспечения (*Excel 7.0, Statistic 7.0*).

В исследованиях, проведенных с применением изотопа ¹⁵N, определены абсолютные и относительные количественные параметры потребления яровой пшеницей и злаково-бобовой смесью почвенного азота и азота удобрений, определена роль этих источников азота в формировании урожая при внесении разных форм азотных удобрений.

Установлено, что интенсивность потребления и включения азота в продукционный процесс определяется почвенными условиями, биологическими особенностями культур, формами азотных удобрений. Величина потребления азота яровой пшеницей на дерново-подзолистых автоморфной и глееватой супесчаных почвах на контрольном варианте (без удобрений) колебалась от 3,90 до 5,45 г/м², на фосфорно-калийном фоне ($P_{90}K_{150}$) – от 6,66 до 7,97 г/м². В вариантах с применением разных форм азотных удобрений в дозе N_{90} она изменялась от 11,56 до 12,40 г/м² на автоморфной почве и от 15,74 до 16,43 г/м² – на глееватой почве. На автоморфной почве общий вынос азота в вариантах с сульфатом аммония, аммиачной селитрой и КАС был примерно одинаковым – 12,27-12,40 г/м², несколько ниже в варианте с карбамидом. На глееватой почве самый низкий вынос элемента был в варианте с аммиачной селитрой (табл. 1).

Таблица 1. Влияние форм азотных удобрений на потребление азота почвы и удобрений яровой пшеницей в фазу полного созревания

Почва	Варианты опыта	Поглощено азота, г/м ²			Нуль % от общего выноса
		всего	в том числе		
			почвы	удобрений	
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная	1. Контроль	3,90	3,90	-	-
	2. $P_{90}K_{150}$ – фон	6,66	6,66	-	-
	3. Фон + N_{90k}	11,56	8,00	3,56	31
	4. Фон + N_{90a}	12,40	8,28	4,12	33
	5. Фон + N_{90aa}	12,27	8,13	4,14	34
	6. Фон + $N_{90}КАС$	12,34	8,15	4,19	34
Дерново-подзолистая глееватая супесчаная	1. Контроль	5,45	5,45	-	-
	2. $P_{90}K_{150}$ – фон	7,97	7,97	-	-
	3. Фон + N_{90k}	16,19	12,19	4,00	25
	4. Фон + N_{90a}	16,21	12,13	4,08	25
	5. Фон + N_{90aa}	15,74	11,64	4,10	26
	6. Фон + $N_{90}КАС$	16,43	12,27	4,16	25

В выносе азота основной (зерно) и побочной (солома) продукцией яровой пшеницы также преобладал азот почвенных запасов, однако здесь значительно возросла доля азота удобрений. Удельный вес внесенного азота составил на автоморфной почве 31–34 %, на глееватой почве – 25–26 %, а азот почвы занимал соответственно 66–69 и 74–75 %. Наиболее низкое относительное участие азота удобрений в общем выносе было на автоморфной почве в варианте с карбамидом, а на глееватой почве формы вносимого азота не различались.

Величина потребления азота бобово-злаковой смесью на автоморфной и глееватой почвах на контрольном варианте (без удобрений) составила 6,66–7,48 г/м², на фосфорно-калийном фоне (P₆₀K₁₅₀) 10,11–10,84 г/м², а в вариантах с применением разных форм азотных удобрений в дозе N₆₀ она изменялась от 15,86 до 17,87 г/м². Наибольший общий вынос азота на автоморфной и на глееватой почве отмечен при внесении карбамида – 17,62 и 17,87 г/м², соответственно, а самый низкий – в варианте с сульфатом аммония – соответственно 16,32 и 15,86 г/м² (табл. 2).

Таблица 2. Влияние форм азотных удобрений на потребление азота почвы и удобрений бобово-злаковой смесью в фазу полного созревания

Варианты опыта	Варианты опыта	Поглощено азота, г/м ²			N _{уд} % от общего выноса
		всего	в том числе		
			почвы	удобрений	
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная	1. Контроль	6,66	6,66	–	–
	2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	10,11	10,11	–	–
	3. Фон + N ₆₀ К	17,62	15,91	1,71	10
	4. Фон + N ₆₀ а	16,32	15,00	1,32	8
	5. Фон + N ₆₀ аа	16,56	15,26	1,30	8
	6. Фон + N ₆₀ КАС	17,17	15,98	1,19	7
Дерново-подзолистая глееватая супесчаная	1. Контроль		7,48	–	–
	2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон		10,84	–	–
	3. Фон + N ₆₀ К		16,22	1,65	9
	4. Фон + N ₆₀ а		14,27	1,59	10
	5. Фон + N ₆₀ аа	16,44	14,89	1,55	9
	6. Фон + N ₆₀ КАС	16,88	14,89	1,99	12

Полученные данные свидетельствуют о преимущественном значении почвенного азота в питании растений. В общем выносе азота удельный вес азота удобрений составлял на яровой пшенице на автоморфной почве 31–34 %, на глееватой почве – 25–26 %, на бобово-злаковой смеси на 7–10 и 9–12 % соответственно на автоморфной и глееватой почвах. Наиболее низкое относительное участие (7 %) азота удобрений отмечено в варианте с применением КАС на автоморфной почве.

Следовательно, определение почвенного и внесенного азота в основной и побочной продукции возделываемых культур показало, что урожайность яровой пшеницы на 66–69 % на автоморфной почве и на 74–75 % на глееватой почве формируется за счет азота почвы. Урожайность бобово-злаковой смеси на 88–93 % образуется за счет почвенного азота.

Поскольку доленое участие азотных удобрений в формировании урожая основной (зерно) и побочной (солома) продукции невысокое, то возникает вопрос, каким образом они способствуют существенному росту продуктивности сельскохозяйственных культур? Установлено, что азот удобрений в большей мере расходуется на образование зерна, чем соломы. Так, в зерне яровой пшеницы концентрировалось азота удобрений на автоморфной почве 63–66 % и на глееватой почве – 76–77 % всего поглощенного растениями азота удобрений. На бобово-злаковой смеси эти значения составили на автоморфной почве 71–87 %, на глееватой почве – 57–68 % (табл. 3 и 4). Приводятся данные [4], что в отдельные годы в зерне концентрируется до 85 % общего выноса азота удобрений.

Таблица 3. Влияние форм азотных удобрений на вынос азота почвы и удобрений основной и побочной продукцией яровой пшеницы

Варианты опыта	Вынос азота зерном, г/м ²			Вынос азота соломой, г/м ²		
	Всего	в том числе		всего	в том числе	
		почвы	удобрений		почвы	удобрений
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная почва						
1. Контроль	2,77	2,77	–	1,13	1,13	–
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	4,74	4,74	–	1,92	1,92	–
3. Фон + N ₉₀ К	8,26	6,00	2,26	3,30	2,00	1,30
4. Фон + N ₉₀ а	8,99	6,29	2,70	3,41	1,99	1,42
5. Фон + N ₉₀ аа	8,91	6,17	2,74	3,36	1,96	1,40
6. Фон + N ₉₀ КАС	8,95	6,21	2,74	3,39	1,94	1,45
Дерново-подзолистая глееватая супесчаная почва						
1. Контроль	3,85	3,85	–	1,60	1,60	–
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	5,66	5,66	–	2,31	2,31	–
3. Фон + N ₉₀ К	11,85	8,81	3,04	4,34	3,38	0,96
4. Фон + N ₉₀ а	11,95	8,82	3,13	4,26	3,31	0,95
5. Фон + N ₉₀ аа	11,71	8,59	3,12	4,03	3,05	0,98
6. Фон + N ₉₀ КАС	12,06	8,89	3,17	4,37	3,38	0,99

Таблица 4. Влияние форм азотных удобрений на вынос азота почвы и удобрений основной и побочной продукцией бобово-злаковой смеси

Варианты опыта	Вынос азота зерном, г/м ²			Вынос азота соломой, г/м ²		
	всего	в том числе		всего	в том числе	
		почвы	удобрений		почвы	удобрений
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная почва						
1. Контроль	4,70	4,70	–	1,96	1,96	–
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	6,81	6,81	–	3,30	3,30	–
3. Фон + N _{60к}	12,04	10,73	1,31	5,58	5,18	0,40
4. Фон + N _{60а}	10,87	9,93	0,94	5,45	5,07	0,38
5. Фон + N _{60аа}	11,11	10,13	0,98	5,45	5,13	0,32
6. Фон + N _{60КАС}	11,72	10,68	1,04	5,45	5,3	0,15
Дерново-подзолистая глееватая супесчаная почва						
1. Контроль	5,26	5,26	–	2,22	2,22	–
2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	7,60	7,60	–	3,24	3,24	–
3. Фон + N _{60к}	12,29	11,17	1,12	5,58	5,05	0,53
4. Фон + N _{60а}	10,84	9,94	0,90	5,02	4,33	0,69
5. Фон + N _{60аа}	11,12	10,23	0,89	5,32	4,66	0,66
6. Фон + N _{60КАС}	11,61	10,43	1,18	5,27	4,46	0,81

В наших исследованиях влияние изучаемых форм азотных удобрений на продуктивность культур зависело от степени гидроморфизма почвы и биологических особенностей растений.

Продуктивность яровой пшеницы на контроле сформирована на автоморфной почве 16,1 ц/га, на глееватой почве – 21,0 ц/га. Фосфорные и калийные удобрения, которые применяли в дозах соответственно 90 и 150 кг/га действующего вещества обеспечили прибавки зерна на автоморфной и глееватой почвах 8,1 и 7,7 ц/га, соответственно (табл. 5).

Таблица 5. Влияние форм азотных удобрений на урожайность зерна яровой пшеницы и бобово-злаковой смеси

Культура	Варианты опыта	Урожайность зерна, ц/га	Прибавка урожайности, ц/га		
			к контролю	к РК	
Яровая пшеница	Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная почва				
	1. Контроль	16,1	–	–	
	2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	24,2	8,1	–	
	3. Фон + N _{90к}	34,2	18,1	10,0	
	4. Фон + N _{90а}	33,7	17,6	9,5	
	5. Фон + N _{90аа}	32,9	16,8	8,7	
	6. Фон + N _{90КАС}	33,1	17,0	8,9	
	HCP ₀₅	3,17	–	–	
	Дерново-подзолистая глееватая супесчаная почва				
	1. Контроль	21,0	–	–	
	2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	28,7	7,7	–	
	3. Фон + N _{90к}	44,4	23,4	15,7	
	4. Фон + N _{90а}	44,1	23,1	15,4	
	5. Фон + N _{90аа}	42,8	21,8	14,1	
6. Фон + N _{90КАС}	44,2	23,2	15,5		
HCP ₀₅	4,11	–	–		
Бобово-злаковая смесь	Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная почва				
	1. Контроль	20,9	–	–	
	2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	29,5	8,6	–	
	3. Фон + N _{60к}	43,8	22,9	14,3	
	4. Фон + N _{60а}	43,6	22,7	14,1	
	5. Фон + N _{60аа}	44,1	23,2	14,6	
	6. Фон + N _{60КАС}	45,6	24,7	16,1	
	HCP ₀₅	3,76	–	–	
	Дерново-подзолистая глееватая супесчаная почва				
	1. Контроль	22,5	–	–	
	2. P ₉₀ K ₁₅₀ – фон	30,8	8,3	–	
	3. Фон + N _{60к}	44,2	21,7	13,4	
	4. Фон + N _{60а}	41,5	19,0	10,7	
	5. Фон + N _{60аа}	42,6	20,1	11,8	
6. Фон + N _{60КАС}	41,3	18,8	10,5		
HCP ₀₅	3,90	–	–		

Азотные удобрения применяли в дозе 90 кг/га перед посевом яровой пшеницы. В зависимости от формы вносимого азота урожайность колебалась в пределах на автоморфной почве 32,9–34,2 ц/га

($HCP_{05} = 3,17$), на глееватой почве – 42,8–44,4 ц/га ($HCP_{05} = 4,11$). Прибавки зерна к фону РК составили на автоморфной почве 13,7–15,6 ц/га, на глееватой почве значительно выше – 17,9–21,1 ц/га. Не установлено существенных различий между формами азотных удобрений по влиянию на урожайность яровой пшеницы. Урожайность бобово-злаковой смеси на зерно на контрольном варианте получена на автоморфной почве 20,9 ц/га, на глееватой почве – 22,5 ц/га. Применение фосфорных и калийных удобрений в дозах $P_{60}K_{150}$ обеспечили достоверные прибавки зерна по отношению к контрольному варианту, которые составили соответственно на автоморфной и глееватой почвах 8,6 и 8,3 ц/га.

Азотные удобрения, которые применяли в дозах 60 кг/га, способствовали существенному увеличению урожайности бобово-злаковой смеси. Прибавки зерна по отношению к фосфорно-калийному фону сформированы на автоморфной почве 14,1–16,1 ц/га, на глееватой почве – 9,3–13,4 ц/га. Достоверных различий в урожайности бобово-злаковой смеси между формами азотных удобрений не установлено. Она изменялась в пределах ошибки опыта. В то же время наиболее высокая урожайность на автоморфной почве получена в варианте с применением жидкого азотного удобрения КАС (смеси растворов карбамида и аммиачной селитры), составившая 45,6 ц/га зерна, а на глееватой почве – при внесении карбамида, где урожайность получена 44,2 ц/га.

Показателем агрохимической эффективности применения азотных удобрений является коэффициент использования азота удобрений ($KI_{уд}$) или эффективность потребления (поглощения) азота. С физиологической точки зрения потребление и усвоение азота растениями представляет собой систему последовательных процессов: поглощение NO_3^- и NH_4^+ корневой системой; транспорт минеральных и органических соединений азота в надземные органы, где завершается превращение минерального азота в органическую форму; включение экзогенного азота в синтез высокомолекулярных органических соединений. Для агрономической практики главным является не столько сам метаболизм азота в растительном организме, сколько действие различных агротехнических приемов на степень усвоения его растениями. Для определения степени усвоения азота удобрений используется показатель «физиологическая эффективность азота» ($\Phi Э$), который представляет собой окупаемость единицы поглощенного растениями азота удобрений и «экстра»-азота прибавкой урожая основной продукции. Рассчитывается по формуле [16]:

$$\Phi Э = (V_{NPK} - V_{PK}) : (B_{NPK} - B_{PK}),$$

где V_{NPK} и V_{PK} – урожай основной продукции в вариантах NPK и РК (ц/га, г/м²); B_{NPK} и B_{PK} – вынос азота растениями в вариантах NPK и РК (кг/га, г/м²).

Физиологическая эффективность азота обычно снижается в интервале возрастающих доз, в то время как размеры поглощения азота возрастают [17].

Установлено, что величина окупаемости поглощенного азота удобрений прибавкой урожая зерна зависит от форм азотных удобрений и степени увлажнения почвы. На яровой пшенице окупаемость поглощенного азота изменялась на автоморфной почве от 15,5 до 20,4 грамм зерна, на глееватой почве – от 18,1 до 19,1 грамм зерна. На автоморфной и глееватой почвах физиологически наиболее эффективной был карбамид. На бобово-злаковой смеси физиологическая эффективность азота была несколько выше, чем на яровой пшенице. Значение данного показателя на автоморфной почве в вариантах с применением сульфата аммония, аммиачной селитры и КАС было одинаковым и составило 22,6–22,8 грамм зерна. На глееватой почве физиологически наиболее эффективными оказались сульфат аммония и аммиачная селитра (табл. 6).

Таблица 6. Эффективность применение разных форм азотных удобрений

Культура	Варианты опыта	Автоморфная почва		Глееватая почва	
		$\Phi Э$, грамм	$KI_{уд}$, %	$\Phi Э$, грамм	$KI_{уд}$, %
Яровая пшеница	1. Контроль	–	–	–	–
	2. $P_{90}K_{150}$ – фон	–	–	–	–
	3. Фон + $N_{90к}$	20,4	40	19,1	44
	4. Фон + $N_{90а}$	16,6	46	18,7	45
	5. Фон + $N_{90аа}$	15,5	46	18,1	46
	6. Фон + $N_{90КАС}$	15,7	47	18,3	46
Бобово-злаковая смесь	1. Контроль	–	–	–	–
	2. $P_{90}K_{150}$ – фон	–	–	–	–
	3. Фон + $N_{60к}$	19,0	29	19,1	28
	4. Фон + $N_{60а}$	22,7	22	21,3	27
	5. Фон + $N_{60аа}$	22,6	22	21,1	26
	6. Фон + $N_{60КАС}$	22,8	20	17,4	33

По обобщенным данным опытов с ¹⁵N [18], коэффициенты использования азота удобрений ($KI_{уд}$) коррелируют с размерами иммобилизации и потерь азота удобрений. Результаты исследований пока-

зывают, что разные формы азотных удобрений оказывают существенное влияние на величину коэффициента использования азота удобрениями растениями. На яровой пшенице коэффициенты использования азота изменялись на автоморфной почве в пределах 40–47 %, на глееватой почве – 44–46 %. На бобово-злаковой смеси на автоморфной почве наиболее высокий $KI_{уд}$ был при применении карбамида – 29 %, на глееватой почве – при внесении КАС – 33 %.

Заключение

На дерново-подзолистых супесчаных почвах с содержанием минерального азота в пахотном слое в ранневесенний период 18–19 мг/кг почвы урожайность зерна яровой пшеницы на 66–75 % и бобово-злаковой смеси на 88–93 % формируется за счет почвенного азота и соответственно на 25–34 и 7–12 % за счет азота удобрений. Азот удобрений в большей мере расходуется на образование зерна, чем соломы. В зерне яровой пшеницы концентрируется на автоморфной почве 63–66 % и на глееватой почве 76–77 % от всего поглощенного растениями азота удобрений. На бобово-злаковой смеси эти значения составляют на автоморфной почве 71–87 %, на глееватой почве – 57–68 %.

Разные формы азотных удобрений оказывают влияние на величину коэффициента использования азота удобрениями растениями. На яровой пшенице наиболее высокий $KI_{уд}$ на автоморфной почве при внесении КАС (47 %). На глееватой почве эти показатели близкие между собой и составляют 44–46 %. На бобово-злаковой смеси на автоморфной почве наибольший $KI_{уд}$ при применении карбамида (29 %), на глееватой почве – при внесении КАС (33 %). Не установлено существенных различий между формами азотных удобрений по влиянию их на продуктивность яровой пшеницы. При возделывании бобово-злаковой смеси более высокую урожайность зерна на автоморфной почве обеспечивает КАС, а на глееватой почве – карбамид.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кудеяров, В. Н. Цикл азота в почве и эффективность удобрений / В. Н. Кудеяров. – М.: Наука, 1989. – 215 с.
2. Количественная оценка процессов азотного цикла при внесении возрастающих доз азотных удобрений / В. Н. Кудеяров [и др.] // *Агрохимия*. – 1992. – № 2. – С. 3–13.
3. Никитишен, В. И. Развитие представлений в области изучения круговорота азота в агроэкосистемах на основе многолетних полевых опытов / В. Н. Никитишен // *Проблемы агрохимии и экологии*. – 2008. – № 1. – С. 7–12.
4. Сычев, В. Г. Роль азота в интенсификации продукционного процесса сельскохозяйственных культур / В. Г. Сычев, О. А. Соколов, Н. Я. Шмырева. – М.: ВНИИА, 2009. – 424 с.
5. Гамзиков, Г. П. Баланс и превращение азота удобрений / Г. П. Гамзиков, Г. И. Кострик, В. Н. Емельянова. – Новосибирск: Наука, 1985. – 161 с.
6. Ефимов, В. Н. Использование азота почвы и удобрений растениями ячменя на дерново-подзолистых супесчаных почвах разной степени окультуренности / В. Н. Ефимов, А. И. Осипов, Е. Ф. Чеснокова // *Агрохимия*. – 1985. – № 7. – С. 3–7.
7. Цыбулько, Н. Н. Азотное питание озимой ржи и баланс азота удобрений в системе почва-растение в зависимости от доз, сроков и способов применения азотных удобрений / Н. Н. Цыбулько // *Агрохимия*. – 1996. – № 5. – С. 8–15.
8. Семенов, Н. Н. Инновационные технологии применения азотных удобрений: теория, методология, практика / Н. Н. Семенов. – Минск: Альфа-книга, 2020. – 320 с.
9. Nauck, R. D. Nitrogen fertilizers effects on nitrogen cycle processes / R. D. Nauck // *Terrestrial nitrogen cycles: Ecol. Bull. Stockholm*. – 1981. – № 33. – P. 551–562.
10. Почвы. Определение органического вещества в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26212–91. – Введ. 1993.07.01. – Минск: Изд-во стандартов, 1992. – 6 с.
11. Почвы. Приготовление солевой вытяжки и определение рН по методу ЦИНАО: ГОСТ 26483–85. – Введ. 07.01.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1987. – 4 с.
12. Почвы. Определение подвижных соединений фосфора и калия по методу Кирсанова в модификации ЦИНАО: ГОСТ 26207–91. – Введ. 07.01.93. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1992. – 6 с.
13. Почвы. Определение обменного аммония по методу ЦИНАО: ГОСТ 26489–85. – Введ. 01.07.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1986. – 6 с.
14. Почвы. Определение нитратов по методу ЦИНАО: ГОСТ 26488–85. – Введ. 01.07.86. – Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 1986. – 5 с.
15. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта / Б. А. Доспехов. – 5-е изд. – М.: Агропромиздат, 1985. – 351 с.
16. Семенов, В. М. Слагаемые эффективности азотных удобрений в системе почва-растение и критерии их количественной оценки. / В. М. Семенов // *Агрохимия*. – 1999. – № 5. – С. 25–32.
17. Цыбулько, Н. Н. Азотное питание озимой ржи и баланс азота удобрений в системе почва-растение в зависимости от доз, сроков и способов применения азотных удобрений / Н. Н. Цыбулько // *Агрохимия*. – 1996. – № 5. – С. 8–15.
18. Количественная оценка процессов азотного цикла при внесении возрастающих доз азотных удобрений / В. М. Семенов [и др.] // *Агрохимия*. – 1992. – № 5. – С. 3–10.