

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

**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  $^{15}\text{N}$ ) изучено влияние форм азотных удобрений на потребление яровой пшеницей (*Triticum aestivum*) и бобово-злаковой смесью (*Pisum sativum* + *Avena*)* *3 а е а и во*

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 м<sup>2</sup>, учетная площадь – 15 м<sup>2</sup>. 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 <sup>15</sup>N, 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/м<sup>2</sup>, на фосфорно-калийном фоне ( $P_{90}K_{150}$ ) – от 6,66 до 7,97 г/м<sup>2</sup>. В вариантах с применением разных форм азотных удобрений в дозе  $N_{90}$  она изменялась от 11,56 до 12,40 г/м<sup>2</sup> на автоморфной почве и от 15,74 до 16,43 г/м<sup>2</sup> – 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/м<sup>2</sup>, 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 <sup>2</sup>			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/м<sup>2</sup>, на фосфорно-калийном фоне (P<sub>60</sub>K<sub>150</sub>) 10,11–10,84 г/м<sup>2</sup>, а в вариантах с применением разных форм азотных удобрений в дозе N<sub>60</sub> она изменялась от 15,86 до 17,87 г/м<sup>2</sup>. Наибольший общий вынос азота на автоморфной и на глееватой почве отмечен при внесении карбамида – 17,62 и 17,87 г/м<sup>2</sup>, соответственно, а самый низкий – в варианте с сульфатом аммония – соответственно 16,32 и 15,86 г/м<sup>2</sup> (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 <sup>2</sup>			N <sub>уд</sub> % от общего выноса
		всего	в том числе		
			почвы	удобрений	
Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная	1. Контроль	6,66	6,66	–	–
	2. P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	10,11	10,11	–	–
	3. Фон + N <sub>60</sub> К	17,62	15,91	1,71	10
	4. Фон + N <sub>60</sub> а	16,32	15,00	1,32	8
	5. Фон + N <sub>60</sub> аа	16,56	15,26	1,30	8
	6. Фон + N <sub>60</sub> КАС	17,17	15,98	1,19	7
Дерново-подзолистая глееватая супесчаная	1. Контроль		7,48	–	–
	2. P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон		10,84	–	–
	3. Фон + N <sub>60</sub> К		16,22	1,65	9
	4. Фон + N <sub>60</sub> а		14,27	1,59	10
	5. Фон + N <sub>60</sub> аа	16,44	14,89	1,55	9
	6. Фон + N <sub>60</sub> 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 <sup>2</sup>			Вынос азота соломой, г/м <sup>2</sup>		
	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 <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	4,74	4,74	–	1,92	1,92	–
3. Фон + N <sub>90</sub> К	8,26	6,00	2,26	3,30	2,00	1,30
4. Фон + N <sub>90</sub> а	8,99	6,29	2,70	3,41	1,99	1,42
5. Фон + N <sub>90</sub> аа	8,91	6,17	2,74	3,36	1,96	1,40
6. Фон + N <sub>90</sub> 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 <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	5,66	5,66	–	2,31	2,31	–
3. Фон + N <sub>90</sub> К	11,85	8,81	3,04	4,34	3,38	0,96
4. Фон + N <sub>90</sub> а	11,95	8,82	3,13	4,26	3,31	0,95
5. Фон + N <sub>90</sub> аа	11,71	8,59	3,12	4,03	3,05	0,98
6. Фон + N <sub>90</sub> 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 <sup>2</sup>			Вынос азота соломой, г/м <sup>2</sup>		
	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 <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	6,81	6,81	–	3,30	3,30	–
3. Фон + N <sub>60</sub> к	12,04	10,73	1,31	5,58	5,18	0,40
4. Фон + N <sub>60</sub> а	10,87	9,93	0,94	5,45	5,07	0,38
5. Фон + N <sub>60</sub> аа	11,11	10,13	0,98	5,45	5,13	0,32
6. Фон + N <sub>60</sub> КАС	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 <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	7,60	7,60	–	3,24	3,24	–
3. Фон + N <sub>60</sub> к	12,29	11,17	1,12	5,58	5,05	0,53
4. Фон + N <sub>60</sub> а	10,84	9,94	0,90	5,02	4,33	0,69
5. Фон + N <sub>60</sub> аа	11,12	10,23	0,89	5,32	4,66	0,66
6. Фон + N <sub>60</sub> КАС	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 <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	24,2	8,1	–
	3. Фон + N <sub>90</sub> к	34,2	18,1	10,0
	4. Фон + N <sub>90</sub> а	33,7	17,6	9,5
	5. Фон + N <sub>90</sub> аа	32,9	16,8	8,7
	6. Фон + N <sub>90</sub> КАС	33,1	17,0	8,9
	HCP <sub>05</sub>	3,17	–	–
	Дерново-подзолистая глееватая супесчаная почва			
	1. Контроль	21,0	–	–
	2. P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	28,7	7,7	–
	3. Фон + N <sub>90</sub> к	44,4	23,4	15,7
	4. Фон + N <sub>90</sub> а	44,1	23,1	15,4
	5. Фон + N <sub>90</sub> аа	42,8	21,8	14,1
6. Фон + N <sub>90</sub> КАС	44,2	23,2	15,5	
HCP <sub>05</sub>	4,11	–	–	
Бобово-злаковая смесь	Дерново-подзолистая автоморфная супесчаная почва			
	1. Контроль	20,9	–	–
	2. P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	29,5	8,6	–
	3. Фон + N <sub>60</sub> к	43,8	22,9	14,3
	4. Фон + N <sub>60</sub> а	43,6	22,7	14,1
	5. Фон + N <sub>60</sub> аа	44,1	23,2	14,6
	6. Фон + N <sub>60</sub> КАС	45,6	24,7	16,1
	HCP <sub>05</sub>	3,76	–	–
	Дерново-подзолистая глееватая супесчаная почва			
	1. Контроль	22,5	–	–
	2. P <sub>90</sub> K <sub>150</sub> – фон	30,8	8,3	–
	3. Фон + N <sub>60</sub> к	44,2	21,7	13,4
	4. Фон + N <sub>60</sub> а	41,5	19,0	10,7
	5. Фон + N <sub>60</sub> аа	42,6	20,1	11,8
6. Фон + N <sub>60</sub> КАС	41,3	18,8	10,5	
HCP <sub>05</sub>	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 агрохимической 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/м<sup>2</sup>);  $B_{NPK}$  и  $B_{PK}$  – вынос азота растениями в вариантах NPK и РК (кг/га, г/м<sup>2</sup>).

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 <sup>15</sup>N [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 pH 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.