

**Агрочвоведение и агроэкология**

УДК 631.445.24:631.816:631.416.1

DOI: 10.31857/S2500262723040087, EDN: JXZWCZ

**АЗОТНЫЙ РЕЖИМ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ ПРИ ДЛИТЕЛЬНОМ ПРИМЕНЕНИИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ И СОЧЕТАНИЙ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ****Н. Е. Завьялова**, доктор биологических наук, **М. Т. Васбиева**, кандидат биологических наук, **Д. Г. Шишков**, младший научный сотрудник, **И. В. Казакова**, младший научный сотрудник*Пермский федеральный исследовательский центр УрО РАН,  
614532, Пермский край, с. Лобаново, ул. Культуры, 12  
E-mail: nezavyalova@gmail.com*

*Исследования проводили с целью изучения влияния различных видов и сочетаний минеральных удобрений на фракционный состав азота дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы в длительном стационарном опыте в сравнении с целинным аналогом. Работу выполняли в 2016 и 2018 гг. в Пермском крае после уборки ячменя в восьмипольном севообороте. Схема опыта: без удобрений;  $N_{90}$ ;  $P_{90}$ ;  $K_{90}$ ;  $N_{90}P_{90}$ ;  $N_{90}K_{90}$ ;  $P_{90}K_{90}$ ;  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . Азотный фонд дерново-подзолистой почвы длительного стационарного опыта на 64...71 % представлен негидролизруемыми и на 17...22 % трудногидролизруемыми формами азота. Длительное применение различных видов и сочетаний минеральных удобрений не изменяло существенно соотношения фракций азота, характерного для целинных почв этого типа. Азотные удобрения, как при одностороннем внесении, так и в сочетании с калием хлористым ( $N_{90}K_{90}$ ) и суперфосфатом ( $N_{90}P_{90}$ ) способствовали повышению содержания общего азота в пахотном слое почвы на 10...20 % относительно контроля, а его минеральных соединений – в 2...3 раза. Одностороннее применение калийного удобрения обеспечило повышение содержания общего азота в почве на 12 %, а внесение суперфосфата не оказывало существенного влияния на ее азотный режим. Длительное применение полного минерального удобрения ( $N_{90}P_{90}K_{90}$ ) способствовало поддержанию общего азота на уровне целинной почвы – 1490 мг/кг. Длительное одностороннее внесение азотных удобрений увеличивало содержание нитратного азота в почве по всему метровому слою в 1,5...2,5 раза, аммонийного – в 1,5...14,6 раза. Запасы минерального азота в вариантах  $N_{90}P_{90}$ ,  $N_{90}K_{90}$  и  $N_{90}P_{90}K_{90}$  в слое 0...20 см увеличились, относительно контрольного варианта, в 2...3 раза, в слое 0...100 см – в 2 раза.*

**NITROGEN REGIME OF SODDY-PODZOLIC SOIL WITH LONG-TERM USE OF DIFFERENT TYPES AND COMBINATIONS OF MINERAL FERTILIZERS****N. E. Zavyalova, M. T. Vasbieva, D. G. Shishkov, I. V. Kazakova***Perm Federal Research Center Ural Branch Russian Academy of Sciences,  
614532, Permskii krai, s. Lobanovo, ul. Kul'tury, 12  
E-mail: nezavyalova@gmail.com*

*The purpose of the work is to study the effect of various types and combinations of mineral fertilizers on the fractional composition of nitrogen in soddy-podzolic soil in a long-term stationary experiment and compare it with a virgin analogue. The studies were carried out in 2016 and 2018 on the experimental field of the Perm Research Institute of Agriculture after harvesting barley in an eight-field crop rotation deployed on soddy-podzolic heavy loamy soil. The experiment scheme: without fertilizers:  $N_{90}$ ;  $P_{90}$ ;  $K_{90}$ ;  $N_{90}P_{90}$ ;  $N_{90}K_{90}$ ;  $P_{90}K_{90}$ ;  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . To assess the effect of nitrogen, phosphorus, potash fertilizers and their combinations on the nitrogen regime of soddy-podzolic soil, the arable soil was compared with the virgin analogue. The nitrogen fund of soddy-podzolic soil of a long-term stationary experiment is represented by 64...71 % non-hydrolyzable and 17...22 % hardly hydrolyzable forms of nitrogen. Long-term use of various types and combinations of mineral fertilizers did not significantly change the ratio of nitrogen fractions characteristic of virgin soils of this type. Nitrogen fertilizers, both with one-sided application and in combination with potassium chloride ( $N_{90}K_{90}$ ) and superphosphate ( $N_{90}P_{90}$ ), contributed to an increase in the total nitrogen content in the arable soil layer by 10...20 % relative to the control, mineral nitrogen compounds – by 2...3 times. Unilateral application of potash fertilizer provided an increase in the content of total nitrogen in the soil by 12 %, the introduction of superphosphate did not have a significant effect on the nitrogen regime of the soil. Long-term use of complete mineral fertilizer ( $N_{90}P_{90}K_{90}$ ) only in this way: ( $N_{90}P_{90}K_{90}$ ) contributed to maintaining total nitrogen at the level of virgin soil – 1490 mg/kg. Long-term unilateral application of nitrogen fertilizers increased the content of nitrate nitrogen in the soil over the entire meter layer by 1.5–2.5 times, ammonium – by 1.5–14.6 times. The reserves of mineral nitrogen in the variants  $N_{90}P_{90}$ ,  $N_{90}K_{90}$ , and  $N_{90}P_{90}K_{90}$  in the 0–20 cm layer increased 2–3 times, in the 0–100 cm layer – 2 times relative to the control variant.*

**Ключевые слова:** дерново-подзолистая почва, минеральные удобрения, формы азота, миграция, профиль, запасы азота.**Key words:** soddy-podzolic soil, mineral fertilizers, nitrogen forms, migration, profile, nitrogen reserves.

Азот – один из основных элементов питания растений, без которого невозможно вырастить хороший урожай сельскохозяйственных культур [1, 2, 3]. Содержание азота в почве, его запасы, формы и подвижность в существенной степени определяют ее плодородие. Более 90 % азота в почве представлено органической формой и практически недоступно растениям без предварительной минерализации органического вещества [4]. На долю минерального азота почвы (нитраты, нитриты,

аммоний) приходится 1...6 % от его общего содержания.

При выращивании сельскохозяйственных культур в агроэкосистемах происходит отчуждение азота из почвы с растительной продукцией, нарушается его круговорот, что обуславливает необходимость восполнения возникающего дефицита этого элемента питания через удобрения [5]. Актуальными остаются вопросы изменения азотного режима почвы под воздействием различных минеральных удобрений и их сочетаний.

Результаты длительных стационарных опытов позволяют дать теоретическое обоснование и практические рекомендации по применению минеральных удобрений для сохранения почвенного плодородия, оптимизации питания и стабильного производства продукции растениеводства [6, 7].

Цель исследований – изучить влияние различных видов и сочетаний минеральных удобрений на фракционный состав азота дерново-подзолистой почвы в длительном стационарном опыте в сравнении с целинным аналогом.

**Методика.** Стационарный полевой эксперимент был заложен в 1978 г. на опытном поле Пермского НИИСХ (филиала ПФИЦ УрО РАН) на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве. Схема опыта: без удобрений;  $N_{90}$ ;  $P_{90}$ ;  $K_{90}$ ;  $N_{90}P_{90}$ ;  $N_{90}K_{90}$ ;  $P_{90}K_{90}$ ;  $N_{90}P_{90}K_{90}$ . Севооборот восьмипольный со следующим чередованием культур: чистый пар, озимая рожь, картофель, пшеница с подсевом клевера, клевер 1 г.п., клевер 2 г.п., ячмень, овес. Минеральные удобрения вносили под зерновые культуры и картофель, на клевере изучали последствие. В опыте использовали мочевину или аммиачную селитру, суперфосфат и хлористый калий. Известь вносили перед началом эксперимента в дозе 1,0 Нг. Общая площадь делянки – 120 м<sup>2</sup>, учетная – 76,4 м<sup>2</sup>. Опыт заложен в 2-х полевых закладках, размещение вариантов рендомизированное.

Почвенные образцы отбирали после уборки ячменя в августе 2016 и 2018 гг. из слоя 0...20 см. Основные агрохимические показатели почвы определяли в соответствии с ГОСТами и методиками ЦИНАО: общего азота – по методу Кьельдаля, трудногидролизуемого и легкогидролизуемого азота – по [8], нитратного азота и обменного аммония – по методикам ЦИНАО. Показатели агрохимической характеристики почвы представлены в работе как среднее по двум закладкам полевого опыта за 2016 и 2018 гг. Продуктивность севооборота в тысячах зерновых единиц, баланс азота и содержание элементов питания в основной и побочной продукции возделываемых культур рассчитывали как среднее за пять ротаций севооборота (1978–2019 гг.).

Для сравнения результатов с целинной почвой образцы отбирали на стационарном участке злаково-разнотравного луга в августе в слое 0...20 см.

**Результаты и обсуждение.** Реакция почвенного раствора в различных вариантах опыта варьировала от средне-

**Табл. 1. Агрохимическая характеристика пахотного слоя почвы длительного опыта и продуктивность севооборота**

Вариант	pH <sub>ксл</sub>	Нг, моль/100 г	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/кг	K <sub>2</sub> O, мг/кг	Гумус, %	Продуктивность севооборота (среднее за I...V ротации), тыс. зерн. ед./га в год
<b>Целинная почва</b>						
Злаково-разнотравный луг	4,6	3,4	267	175	2,15	-
<b>Пахотная почва</b>						
Контроль	5,2	2,5	192	129	1,93	2,65
$N_{90}$	4,9	3,5	188	112	1,89	3,15
$P_{90}$	5,1	2,6	461	108	2,06	2,76
$K_{90}$	5,5	1,6	235	217	2,37	2,82
$N_{90}P_{90}$	4,5	3,8	397	109	2,22	3,02
$N_{90}K_{90}$	4,6	3,9	185	218	2,20	3,11
$P_{90}K_{90}$	5,2	2,6	397	195	1,84	2,97
$N_{90}P_{90}K_{90}$	4,7	4,0	371	230	2,29	3,23
НСР <sub>05</sub>	0,3	0,2	123	17	0,33	0,17

до слабокислой (табл. 1). При внесении  $K_{90}$  отмечено достоверное увеличение рН<sub>ксл</sub> с 5,2 в контрольном варианте до 5,5. Обеспеченность почвы подвижным фосфором по Кирсанову изменялась от средней до очень высокой.

При внесении фосфорных удобрений ( $P_{90}$ ,  $N_{90}P_{90}$ ,  $P_{90}K_{90}$  и  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ) отмечали высокое содержание подвижного фосфора в почве (371...461 мг/кг). Максимальным в опыте содержанием подвижного калия характеризовалась почва в варианте с калийными удобрениями в дозе 90 кг д.в./га – 195...230 мг/кг, что практически в 2 раза выше, чем в контроле, вариантах с внесением  $N_{90}$ ,  $P_{90}$  и  $N_{90}P_{90}$ , а также на 11...24 % больше, чем в целинной почве злаково-разнотравного луга.

Содержание гумуса в дерново-подзолистой почве под ячменем варьировало в интервале 1,84...2,37 %, его изменение в зависимости от видов и соотношений минеральных удобрений математически не доказано. Величина этого показателя в вариантах опыта с применением азота в сочетании с фосфором и калием находилась практически на уровне целинной почвы.

Минеральные удобрения обеспечивали рост продуктивности сельскохозяйственных культур, которая при внесении  $N_{90}P_{90}K_{90}$  была на 21,9 % выше, чем в контроле, и составляла 3,23 тыс. зерн.ед./га в год. При внесении  $P_{90}$ ,  $K_{90}$  и  $P_{90}K_{90}$  отмечен самый низкий прирост продуктивности.

**Табл. 2. Баланс азота за 5 ротаций полевого восьмипольного севооборота (1978–2019 гг.), кг/га**

Вариант	В сумме за 5 ротаций			Баланс азота +/-	Интенсивность баланса, %		
	поступление					в среднем в год	
	1*	2	3				
Без удобрений	-	690	150	2640	-1800	-45	32
$N_{90}$	2250	740	150	3425	-285	-7	92
$P_{90}$	-	760	150	2585	-1825	-46	29
$K_{90}$	-	920	150	2935	-2015	-50	31
$N_{90}P_{90}$	2250	625	150	3255	-230	-6	93
$N_{90}K_{90}$	2250	690	150	3300	-210	-5	94
$P_{90}K_{90}$	-	915	150	3000	-2085	-52	31
$N_{90}P_{90}K_{90}$	2250	645	150	3385	-340	-9	90

\*1 – с удобрениями, 2 – с клевером (2/3 от выноса культурой), 3 – с семенами.

Вынос азота культурами севооборота в варианте без удобрений за пять ротаций севооборота составил 2640 кг/га, при внесении азотных удобрений отдельно и в сочетании с фосфорными и калийными он увеличился на 23,3...29,7 % (табл. 2).

При этом интенсивность баланса составляла 90...94 %. Без азотных удобрений она оставалась на уровне контроля, что объясняется меньшими размерами урожая и выноса азота. В вариантах, где азотные удобрения не вносили, отрицательный баланс азота изменялся от 45 до 52 кг/га в год, компенсация выноса элемента благодаря двум полям клевера лугового в севообороте составила около 30 %. При внесении азотных удобрений  $N_{90}$ ,  $N_{90}P_{90}$ ,  $N_{90}K_{90}$  и  $N_{90}P_{90}K_{90}$  баланс был близок к нулевому.

Результаты анализа качества урожая возделываемых в севообороте культур свидетельствуют, что максимальное в опыте количество азота выносит яровая пшеница, а также клевер первого и второго года пользования (табл. 3). Вынос азота зерном пшеницы увеличивался в 1,1 раза при совместном внесении азотных удобрений с фосфорными ( $N_{90}P_{90}$ ) и калийными ( $N_{90}K_{90}$ ). Различные виды минеральных удобрений и их сочетания в последствии не оказывали влияния на содержание азота

**Табл. 3. Содержание элементов питания в основной и побочной продукции культур севооборота (среднее за 1978–2019 гг.), %**

Культура*	Продукция	Элемент	Без удобрений	N <sub>90</sub>	P <sub>90</sub>	K <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	HCP <sub>05</sub>
1	зерно	N	1,65	1,90	1,74	1,95	1,97	2,05	1,85	2,03	0,15
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,71	0,69	0,72	0,69	0,68	0,68	0,66	0,70	Fф<Fт
		K <sub>2</sub> O	0,65	0,66	0,66	0,66	0,65	0,64	0,62	0,62	0,02
	солома	N	0,57	0,67	0,51	0,63	0,76	0,72	0,66	0,72	0,08
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,19	0,12	0,17	0,18	0,17	0,16	0,19	0,25	0,04
		K <sub>2</sub> O	1,45	1,60	1,53	1,51	1,99	2,03	1,50	1,87	0,22
2	клубни	N	1,46	1,95	1,46	1,5	1,79	1,74	1,40	1,85	0,23
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,52	0,48	0,54	0,52	0,49	0,47	0,51	0,50	Fф<Fт
		K <sub>2</sub> O	3,34	3,11	3,33	3,58	3,00	3,67	3,40	3,54	0,16
3	зерно	N	2,51	2,42	2,56	2,52	2,71	2,48	2,57	2,78	0,19
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,84	0,91	0,83	0,9	0,76	0,83	0,85	0,77	0,07
		K <sub>2</sub> O	0,54	0,50	0,49	0,56	0,54	0,43	0,44	0,47	0,04
	солома	N	0,71	0,77	0,71	0,61	0,83	0,73	0,75	0,83	0,09
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,17	0,19	0,19	0,17	0,21	0,17	0,19	0,19	0,03
		K <sub>2</sub> O	1,39	1,35	1,02	1,08	1,26	1,33	1,64	1,46	0,18
4	сено, 16 %	N	2,71	2,82	2,5	2,82	2,76	2,65	2,71	2,58	Fф<Fт
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,71	0,73	0,63	0,69	0,73	0,7	0,72	0,70	0,07
		K <sub>2</sub> O	3,24	3,11	3,02	3,78	3,26	3,8	3,65	3,69	0,33
5	сено, 16 %	N	2,69	2,81	2,64	2,68	2,79	2,65	2,71	2,73	Fф<Fт
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,57	0,58	0,54	0,57	0,57	0,51	0,59	0,58	0,05
		K <sub>2</sub> O	2,95	2,91	3,16	3,25	2,7	3,33	3,39	3,30	0,25
6	зерно	N	1,80	2,07	1,72	1,85	2,13	2,17	1,96	2,05	0,27
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,82	0,77	0,78	0,78	0,84	0,78	0,78	0,91	Fф<Fт
		K <sub>2</sub> O	0,65	0,72	0,71	0,7	0,75	0,77	0,71	0,69	Fф<Fт
	солома	N	0,67	0,75	0,65	0,78	0,84	0,78	0,69	0,82	0,16
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,31	0,27	0,27	0,26	0,32	0,25	0,23	0,31	0,06
		K <sub>2</sub> O	1,30	1,45	1,40	1,54	1,60	1,74	1,52	1,70	0,24
7	зерно	N	1,80	1,99	1,71	1,72	1,89	2,04	1,79	1,87	0,24
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,83	0,80	0,83	0,79	0,82	0,84	0,79	0,81	Fф<Fт
		K <sub>2</sub> O	0,77	0,82	0,76	0,74	0,90	0,79	0,80	0,90	Fф<Fт
	солома	N	0,53	0,78	0,43	0,46	0,75	0,75	0,45	0,69	0,22
		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,44	0,31	0,46	0,44	0,40	0,33	0,45	0,37	0,07
		K <sub>2</sub> O	2,46	2,25	2,39	2,18	2,50	2,55	2,43	2,62	Fф<Fт

\*1 – озимая рожь, 2 – картофель, 3 – яровая пшеница, 4 – клевер 1 г.п., 5 – клевер 2 г.п., 6 – ячмень, 7 – овёс.

в сене клевера. Длительное применение минеральных удобрений, кроме фосфорных (P<sub>90</sub>), повышало содержание азота в зерне озимой ржи и ярового ячменя, относительно варианта без удобрений. В зерне овса не установлено значимых различий в зависимости от вариантов опыта. Накопление азота в соломе зерновых культур мало зависело от применяемых удобрений и их сочетаний, при этом было выше в соломе пшеницы и ячменя, чем в соломе озимой ржи и овса.

Состояние азотного фонда исследуемой почвы зависело от вида угодий, характера их использования и применяемых удобрений. Содержание общего азота в целинной дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Предуралья в слое 0...20 см составляло 1490 мг/кг [9]. Степень обогащённости органического вещества азотом высокая – C: N = 8. Для этого типа почв характерна локализация запасов органического вещества и азота в верхней части профиля. Запасы общего азота в целинной почве в слое 0...20 см составляли 3,43 т/га (почти 40 % от его запасов в метровом слое).

Содержание общего азота служит показателем потенциального плодородия почвы, однако эффективное плодородие зависит от наличия подвижных форм этого элемента. Для характеристики азотного режима исследуемой почвы необходимо иметь представление о его фракционном составе. Каждая форма азота имеет различную агрономическую ценность [8].

Для дерново-подзолистых почв Предуралья характерно преобладание негидролизующих соединений азота над трудно- и легкогидролизующими [10, 11]. Фракция негидролизующего азота представлена более стойкими к гидролизу и микробиологическому разложению органическими азотсодержащими соединениями, в том числе, необменным аммонием. На ее долю приходится большая часть валовых запасов азота целинной почвы –

74 %, трудногидролизующая составляла 17 %, легкогидролизующая – 8 %, минеральная – только 1 %.

Длительное (40 лет) применение азотных удобрений в стационарном полевом опыте, как при одностороннем внесении (N<sub>90</sub>), так и в сочетании с калием хлористым и суперфосфатом (N<sub>90</sub>K<sub>90</sub>, N<sub>90</sub>P<sub>90</sub>) привело к увеличе-

**Табл. 4. Влияние длительного применения минеральных удобрений на азотный режим дерново-подзолистой почвы в слое 0...20 см (среднее за 2016, 2018 гг.)**

Вариант	Общий азот, мг/кг	Негидролизующий азот	Трудногидролизующий азот	Легкогидролизующий азот	Минеральный азот	C:N
<b>Целинная почва</b>						
Злаково-разнотравный луг	1490	1100	253	121	16	8
		74	17	8	1	
<b>Пахотная почва</b>						
Без удобрений	1148	757	225	139	27	10
		66	20	12	2	
N <sub>90</sub>	1323	856	231	178	58	8
		65	17	13	4	
P <sub>90</sub>	1255	808	259	162	26	10
		64	21	13	2	
K <sub>90</sub>	1283	915	202	148	18	10
		71	16	12	1	
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub>	1267	829	221	145	72	10
		65	17	11	6	
N <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	1330	875	242	169	45	9
		66	18	13	3	
P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	1071	682	239	125	25	10
		64	22	12	2	
N <sub>90</sub> P <sub>90</sub> K <sub>90</sub>	1432	969	237	158	68	8
		68	17	11	5	
HCP <sub>05</sub>	119	113	Fф<Fт	Fф<Fт	18	-

\*в числителе абсолютное содержание азота в мг/кг, в знаменателе – в % от общего содержания азота в почве.



нию содержания общего азота в почве, относительно контроля, на 10...20 %, его минеральной фракции – в 1,7...2,7 раза (табл. 4).

Наибольшее накопление азота в дерново-подзолистой почве отмечено при длительном использовании полного минерального удобрения (NPK) в дозах по 90 кг/га д.в., что способствовало поддержанию его общего содержания на уровне целинной почвы. Кроме того, отмечено достоверное повышение общего азота в почве при систематическом применении калийных удобрений на 12 %. Увеличение произошло благодаря негидролизуемой фракции, в состав которой входит необменный аммоний. Высокое содержание калия в почве приводит к блокированию потребления фиксированного аммония [12].

Возделывание культур севооборота способствовало уменьшению доли негидролизуемой фракции в составе общего азота с 74 % в целинной почве до 64...71 %. Достоверное увеличение ее доли, по сравнению с контролем, отмечено в вариантах  $K_{90}$ ,  $N_{90}K_{90}$ ,  $N_{90}P_{90}K_{90}$ .

Ближайший резерв питания растений – легкогидролизуемая фракция азота. Она наиболее мобильна, доступность азота этой фракции определяется интенсивностью биологических процессов в почве [4]. В состав ее азотистых соединений входят такие наиболее подвижные органические соединения, как амиды и амины, которые при благоприятных условиях переходят в минеральную форму. Ведение севооборота и применение минеральных удобрений повысило долю легкогидролизуемого азота в пахотном слое почвы, относительно целинной, в составе общего азота с 8 до 11...13 %. В варианте без удобрений содержание азота этой фракции составляло 139 мг/кг, что сопоставимо с гумусо-аккумулятивным горизонтом целинной почвы. Длительное применение азотных удобрений по 90 кг д.в./га привело к увеличению легкогидролизуемой фракции азота, относительно контроля, на 28 %. Внесение минеральных удобрений в виде парных сочетаний и NPK, кроме варианта  $P_{90}K_{90}$ , способствовало увеличению содержания легкогидролизуемого азота в пахотном (0...20 см) слое почвы на 4...22 %.

Использование азотных удобрений, как в чистом виде, так и в сочетании с фосфорными и калийными ( $N_{90}P_{90}$ ,  $N_{90}K_{90}$ ,  $N_{90}P_{90}K_{90}$ ) приводило к росту доли минерального азота в составе общего до 3...6 %. Эта форма азота служит основным доступным источником азота для растений.

Запасы общего азота при внесении азотных удобрений сопоставимы с его запасами в почве злаково-разнотравного луга. Значимых различий по запасам органических и минеральных форм азота в слое 0...20 см между вариантами не установлено (табл. 5). Достоверное снижение содержания общего и негидролизуемого азота выявлено в варианте с  $P_{90}K_{90}$ .

**Выводы.** Длительное возделывание сельскохозяйственных культур без применения удобрений приводило к снижению запасов общего азота в почве севооборота, относительно целинной почвы, на 0,45 т/га. Максимальная в опыте убыль азота отмечена в варианте с внесением  $P_{90}K_{90}$ , в котором баланс азота составил — 2085 кг/га.

Наиболее интенсивно азот использовали растения яровой пшеницы и клевера лугового. Максимальное в опыте его содержание зафиксировано в зерне пшеницы при внесении  $N_{90}P_{90}$  и  $N_{90}P_{90}K_{90}$  — 2,71...2,78 %.

Фракционный состав азота почвы севооборота на 64...71 % представлен негидролизуемыми соединениями против 74 % в целинной почве злаково-разнотравного луга. Сельскохозяйственное использова-

**Табл. 5. Влияние длительного применения минеральных удобрений на запасы общего азота и его фракций в слое дерново-подзолистой почвы 0...20 см (среднее за 2016, 2018 гг.), т/га**

Вариант	Общий азот	Негидролизуемый азот	Трудногидролизуемый азот	Легкогидролизуемый азот	Минеральный азот
<b>Целинная почва</b>					
Злаково-разнотравный луг	3,43	2,53	0,58	0,28	0,04
<b>Пахотная почва</b>					
Без удобрений	2,98	1,97	0,59	0,36	0,07
$N_{90}$	3,44	2,23	0,60	0,46	0,15
$P_{90}$	3,26	2,10	0,67	0,42	0,07
$K_{90}$	3,34	2,38	0,53	0,38	0,05
$N_{90}P_{90}$	3,29	2,16	0,57	0,38	0,19
$N_{90}K_{90}$	3,46	2,28	0,63	0,44	0,12
$P_{90}K_{90}$	2,78	1,77	0,62	0,33	0,07
$N_{90}P_{90}K_{90}$	3,72	2,52	0,62	0,41	0,18
$НСР_{05}$	0,30	0,22	Fф<Fт	Fф<Fт	0,05

ние приводило к сужению соотношения негидролизуемой фракции азота почвы к гидролизуемым фракциям от 2,9 в целинной почве до 1,9...2,6 в вариантах с длительным применением различных видов и сочетаний минеральных удобрений.

Применение азотных удобрений по 90 кг д.в./га и их сочетаний с фосфором и калием обеспечивало увеличение содержания минерального азота в почве, относительно контроля, в 1,6...2,7 раза. Достоверных различий в содержании трудногидролизуемой и легкогидролизуемой фракций азота под действием различных видов и сочетаний удобрений не отмечено. Применение калия хлористого способствовало повышению содержания общего азота в почве на 12 % вследствие прироста негидролизуемых соединений. Длительное использование суперфосфата не оказывало существенного влияния на азотный режим почвы.

### Литература

1. Кудеяров В. Н. Баланс азота, фосфора и калия в земледелии России // *Агрохимия*. 2018. № 10. С. 3–11.
2. Эффективность использования азота в длительных и краткосрочных опытах агрохимслужбы и Геосети Российской Федерации / В. А. Романенков, М. В. Беличенко, О. В. Рухович и др. // *Агрохимия*. 2020. № 12. С. 28–37.
3. Сычев В. Г. Шафран С. А., Виноградова С. Б. Плодородие почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. 2020. № 6. С. 3–13.
4. Гамзиков Г. П. Системный комплексный подход в агрохимических исследованиях биогенных элементов в агроценозах (на примере азота) // *Агрохимия*. 2014. № 8. С. 3–16.
5. Гомонова Н. Ф., Минеев В. Г. Динамика гумусного состояния почв России и пути его регулирования // *Агрохимия*. 2012. № 6. С. 23–31.
6. Гамзиков Г. П., Анжудович Ю. Н. Влияние длительного применения удобрений на продуктивность полевых культур и агрохимические свойства дерново-подзолистой почвы // *Агрохимия*. 2018. № 1. С. 17–29.
7. Окорков В. В., Фенова О. А., Окоркова Л. А. Удобрение и продуктивность севооборотов на серых лесных почвах Верхневолжья // *Агрохимия*. 2018. № 2. С. 56–70.

8. Шконде Э. И., Королева И. Е. О природе подвижности почвенного азота // *Агрохимия*. 1964. № 10. С. 17–35.
9. Завьялова Н. Е. Гумус и азот дерново-подзолистой почвы различных сельскохозяйственных угодий Пермского края // *Почвоведение*. 2016. № 11. С. 1347–1354.
10. Васбиева М. Т., Завьялова Н. Е., Шишков Д. Г. Изменение агрохимических свойств дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы при длительном применении азотных, фосфорных и калийных удобрений // *Почвоведение*. 2022. № 11. С. 1415–1425.
11. Ямалудинова В. Р., Фомин Д. С., Шишков Д. Г. Влияние длительного применения удобрений на азотный режим дерново-подзолистой почвы и урожайность картофеля (*Solanium Tuberosum L.*) // *Проблемы агрохимии и экологии*. 2019. № 1. С. 10–13.
12. Якименко В. Н. Влияние длительного применения калийных удобрений на агрохимические свойства почвы // *Агрохимия*. 2012. № 12. С. 41–46.

**Поступила в редакцию 28.03.2023**  
**После доработки 02.07.2023**  
**Принята к публикации 18.07.2023**