

#### Литература

1. ГОСТ 26176-91
2. ГОСТ 28561-90
3. Методические указания по определению нитратов и нитритов в продукции растениеводства 5048-89.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта / Б.А. Доспехов. – М.: Колос, 1985.
5. Настольная книга овощевода: справочник / Е.С. Каратаев, Б.Г. Русанов, А.В. Бешанов и др.; сост. Е.С. Каратаев. – М.: Агропромиздат, 1990. – 288 с.
6. Яшина И.М. Картофель / И.М. Яшина, Н.П. Столярова. – М.: ЗАО «Фитон», 2000. – 128 с.
7. Барчукова А.Я. Патент на изобретение RU 2331999 от 21.06.2006 / А.Я. Барчукова, Т.П. Косулина, Н.В. Чернышева, Я.К. Тосунов, Д.Ю. Косулина, С.В. Маслов, Т.В. Воскобойникова, В.Г. Калашникова.
8. Барчукова А.Я. Применение препарата Мелафен в растениеводстве / А.Я. Барчукова, Н.В. Чернышева, Я.К. Тосунов // В сб: Мелафен: механизм действия и области применения. – Казань, 2014. – С. 177-208.
9. Тосунов Я.К. Эффективность препарата Атоник Плюс на картофеле / Я.К. Тосунов, А.Я. Барчукова // Труды КубГАУ. – 2014. – № 48. – С. 102-105.
10. Тосунов Я.К. Эффективность применения препарата Гидрогумин на картофеле / Я.К. Тосунов, А.Я. Барчукова, В.В. Дирин // Труды КубГАУ. – 2016. – № 58. – С. 167-170.
11. Вендило Г.Г. Удобрение овощных культур / Г.Г. Вендило, Т.А. Миканаев, В.Н. Петриченко, А.А. Скаржинский. – М.: Агропромиздат, 1986. – 206 с.
12. Давоян Э.Н. Картофель / Э.Н. Давоян // В кн.: «Энциклопедия овощеводства». – Краснодар: Советская Кубань, 2005. – С. 88-123.

## EFFICIENCY OF NEW MICROFERTILIZERS FOR POTATO CULTIVATION TECHNOLOGY

A.Yu. Shatokhin, O.A. Shapoval

Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, Russian Academy of Sciences,  
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow, 127550 Russia

*It has been shown that the application of new microfertilizers for the treatment of tubers before planting and vegetating plants at the stages of complete emergence and budding increased the yield of commercial potato tubers. The best results were obtained at the application of an amino acid fertilizer at rates of 1.0 and 0.5 L/t for tubers and 3.0 and 1.5 L/ha for plants, as well as a complex of amino acids and microelements (1.0 L/t and 3.0 L/ha). The yield gain was 31.6, 27.9, and 24.2%, respectively, the control yield being 19.0 t/ha. The yield of the coarse potato fraction (>80 g) increased by 68.6, 49.0, and 29.4%, respectively.*

**Keywords:** complex, microfertilizers, amino acids, potato, yield, marketable value.

УДК 631.82 : 631.416.1 : 631.445.4

## ФРАКЦИОННЫЙ СОСТАВ АЗОТА НА ЧЕРНОЗЕМЕ ЮЖНОМ В УСЛОВИЯХ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ

Л.Б. Сайфуллина, к.с.-х.н., М.П. Чуб, д.с.-х.н., В.В. Пронько, д.с.-х.н., НПО «Сила жизни»,  
Т.М. Ярошенко, к.с.-х.н., Н.Ф. Климова, к.с.-х.н., Д.Ю. Журавлев, к.с.-х.н., НИИСХ Юго-Востока

В длительном стационарном опыте на черноземе южном в Поволжье за 42 года наблюдений отмечено снижение запасов общего азота как в пахотном слое, так и в почвенном профиле 0-100 см. Убыль азота происходит в контрольном варианте и в вариантах с разными дозами минеральных удобрений. Наиболее заметным изменением подвержена легкогидролизуемая фракция почвенного азота, определяемая по методу Шконде-Королевой. В вариантах без внесения удобрений, а также при внесении высоких доз азота ( $N_{57}$  кг д.в. на 1 га севооборотной площади) отмечена активная гидролизация негидролизуемых соединений данного элемента. Сохранение стабильной структуры азотистых соединений в пахотном слое почвы обеспечило внесение  $N_{39}$  на 1 га севооборотной площади.

**Ключевые слова:** чернозем южный, минеральные удобрения, общий азот почвы, легкогидролизуемые, трудногидролизуемые и негидролизуемые фракции азота.

Систематическое внесение минеральных удобрений на почвах степного Поволжья оказывает существенное влияние не только на урожайность сельскохозяйственных культур, но и на их агрохимические свойства [1]. Ранее уже публиковались данные о трансформации запасов органического вещества [2, 3], а также валовых форм фосфора [4] и азота [3, 5] на разнудобренных фонах.

Однако определение только одних валовых соединений элементов питания не позволяет судить об особенностях их превращений в почве и, соответственно, ли-

шает возможности дать обоснованные прогнозные оценки изменения пищевого режима почв после внесения удобрений. Так, при анализе экспериментального материала за пять ротаций шестипольного севооборота установлено, что в неудобренной почве потери общего азота за 30 лет почти в 2 раза превышали дефицит его баланса за этот же период [5]. Эти результаты свидетельствуют, что запасы азота в почве формируются не только как следствие выноса с урожаем основной и побочной продукции. Немаловажное значение имеют и процессы гидролиза соединений азота почвы, а также его накопления, денитрификации и миграции вниз по почвенному профилю [6, 7].

Цель исследований – изучить влияние длительного применения минеральных удобрений на структуру азотистых соединений чернозема южного и процессы их гидролиза.

**Методика.** Исследования проводили в длительном стационарном опыте с удобрениями, заложенном в 1969-1971 гг. в опытном хозяйстве НИИСХ Юго-Востока близ Саратова. До 1992 г. исследования велись в шестипольном зернопаропропашном севообороте, а с 1992 г. – в зернопаровом. Опыт развернут во времени на трех полях с последовательным вхождением первого поля севооборота. В 2012–2014 гг. в опыте завершена седьмая ротация севооборота со следующим чередованием культур: 1 – пар черный; 2 – озимая пшеница; 3 – яровая пшеница; 4 – просо; 5 – ячмень; 6 – овес.

Почва опытного участка – чернозем южный малогумусный среднемогучий тяжелосуглинистый. Исходная

(при закладке опыта) агрохимическая характеристика пахотного слоя: содержание гумуса – 4,60-4,45%, общего азота – 0,24–0,24%, общего фосфора ( $P_2O_5$ ) и калия ( $K_2O$ ), соответственно, 0,13 и 1,6%. Содержание доступного фосфора (по Мачигину) в зависимости от удобренности колебалось от 14 до 28 мг/кг, обменного калия в углеаммонийной вытяжке – 300-350 мг/кг. Минеральные удобрения ( $N_{aa}$   $P_{сг}$   $K_x$ ) вносили осенью под основную обработку. Образцы почвы отбирали в метровом слое через 20 см во всех трех полях стационарного опыта по завершении каждой ротации севооборота. Валовые формы азота определяли по методу Кьельдаля [8]. Фракционный состав азота почвы изучали по Шконде – Королевой [9].

**Результаты и их обсуждение.** В составе гумуса чернозема южного содержится около 5% азота. Вместе со снижением содержания органического углерода (элемент-индикатор, определяющий содержание гумуса) в почве убывают и запасы валового азота [2, 7].

Потери углерода в нашем длительном стационарном опыте в контрольном варианте за 42 года в слое почвы 0-40 см составили в среднем 0,17%, или 8,36 т/га. Их размеры зависели от доз вносимых удобрений. Более стабильным содержание углерода оставалось в вариантах  $N_{34}P_{18}K_8$  и  $N_{39}P_{16}K_8$  [3]. Здесь потери были на 20-22% ниже, чем на контроле. Наиболее интенсивно процессы дегумификации протекали в первые четыре ротации севооборотов, когда снижение содержания углерода составляло 0,32 т/га в год. В последующие три ротации его количество в слое почвы 0-40 см колебалось от 2,3 до 2,4%, ежегодные потери углерода составили в среднем 0,08 т/га.

Потери азота в почве определяли двумя способами: расчетным (по учету всех приходных и расходных статей баланса) и аналитическим (послойно через 20 см на глубину 100 см). Установлено, что минимальное возмещение выноса азота (33,7%) было на неудобренном контроле (табл. 1).

**1. Баланс азота и его потери на черноземе южном**

Внесено азотных удобрений		Баланс азота, кг/га				Потери из почвы, кг/га		
в сумме за 30 лет	кг/га севооборотной площади	приход	расход	Баланс, ±	возмещ. выноса, %	0-100 см	В т.ч. в слое 0-40 см	
Контроль (без удобрений)	-	405	1203	-798	33,7	3140	1340	42,7
$N_{450}$	15	987	1518	-531	65,0	4490	890	19,8
$N_{1170}$	39	1737	1905	-168	91,2	2760	670	24,3
$N_{1710}$	57	2175	2100	+75	103,6	1050	790	75,2

При среднегодовой дозе  $N_{39}$  дефицит баланса приближался к допустимому уровню, а вариант  $N_{57}$  был бездефицитным. Аналитическое определение валового азота в слое 0–40 см также показало самые высокие потери в удобренной почве. В течение семи ротаций шестипольного севооборота они составили 1,12 т/га, или 0,03 т/га ежегодно. Внесение низких ( $N_{15}$ ) и средних ( $N_{39}$ ) доз минерального азота привело к дополнительным потерям (0,13 и 0,15 т/га соответственно) за счет повышенного выноса данного элемента с фитомассой. Высокая доза ( $N_{57}$ ) несколько стабилизировала

потери азота за счет накопления в почве его остаточных количеств.

Из таблицы 1 также следует, что внесение минеральных удобрений в пахотном слое (0-30 см) даже в условиях непромывного водного режима оказывает влияние на содержание азота почвы в слое 0-100 см.

**2. Изменения степени гидролиза общего азота в слое почвы 0-20 см за семь ротаций шестипольного зернопарового севооборота в варианте без применения удобрений, мг/кг почвы**

Год	№ поля	N <sub>общ.</sub>	Фракция азота			Степень гидролизуемости
			ЛГ	ТГ	НГ	
1969-1971 исходные						
Исходные		2350	192,4	246,7	1910,9	18,7
Множественное сравнение частных средних		2350с	192,4с	246,7вс	1910,9	18,7
Доля фракции в составе N <sub>общ.</sub> , %			8,2	10,5	81,3	
Четвертая ротация						
1992	1-VIII	2380	175,0	350,0	1855	22,1
1993	2-VIII	2128	190,0	257,6	1680,4	21,0
1994	5-VIII	2128	161,3	365,1	1601,6	24,7
Множественное сравнение частных средних		2212в	175,3вс	324,2d	1712	22,6
Доля фракции в составе N <sub>общ.</sub> , %			7,9	14,7	77,4	
Пятая ротация						
1998	1-VIII	2128	150,6	319,8	1657,6	22,1
1999	2-VIII	2016	117,6	280,0	1618,4	19,7
2000	5-VIII	2016	160,0	231,6	1624,4	19,4
Множественное сравнение частных средних		2053а	142,7а	277,1с	1633,0	20,4
Доля фракции в составе N <sub>общ.</sub> , %			7,0	13,5	79,5	
Шестая ротация						
2004	1-VIII	2128	179,2	171,9	1776,9	16,5
2005	2-VIII	2070	176,4	189,5	1704,1	17,7
2006	5-VIII	0,2020	173,6	207,2	1639,2	18,9
Множественное сравнение частных средних		2072а	176,8с	189,6а	1707,0	17,7
Доля фракции в составе N <sub>общ.</sub> , %			8,5	9,2	82,3	
Седьмая ротация						
2010	1-VIII	2125	137,2	227,0	1760,8	17,1
2011	2-VIII	2070	112,0	246,4	1711,6	17,3
2012	5-VIII	2180	150,0	207,7	1822,3	16,4
Множественное сравнение частных средних		2125ав	133,1а	227,0в	1765	16,9
Доля фракции в составе N <sub>общ.</sub> , %			6,3	10,7	83,0	
X		2162,600	163,989	252,930		
Sx		38,513	8,844	21,533		
P		1,78%	5,39%	8,51%		
F		9,994*	7,983*	5,605*		
HCP		125,596	28,841	70,224		

*Примечание.* ЛГ-легкогидролизующий азот, ТГ-трудногидролизующий, НГ-негидролизующий.

\*Критерий Дункана: варианты с латинскими буквами имеют значимые различия по данному критерию.

В таблице 2 показана трансформация валового азота и его отдельных фракций по ротациям севооборота на неудобренном контроле.

Определения значений критерия множественного сравнения частных средних (в табл. 2 они обозначены буквенными символами) показали, что основные потери валового азота в контрольном варианте приходились на первые пять ротаций севооборота: от 2350 до 2053 мг/кг. В VI и VII ротациях содержание стабилизировалось на уровне показателей V ротации (2072 и 2125 мг/кг).

За период наблюдений в контрольном варианте заметно снизилась доля легкогидролизуемого азота (с 8,2 до 6,3% от  $N_{\text{общ.}}$ ), который является ближайшим резервом азотного питания растений. При этом отмечена тенденция к накоплению в пахотном слое почвы трудногидролизуемой и негидролизуемой фракций азота.

Следует также отметить, что максимальная степень гидролизваемости почвенного азота наблюдалась в четвертой ротации севооборота, а минимальная – в седьмой. Это связано со сложившимися погодными условиями в названные периоды, что безусловно повлияло на активность почвенной микрофлоры [1].

В вариантах с удобрениями к концу пятой ротации также отмечались значительные потери валового азота, причем максимальными они были в варианте с низкой дозой азота (-306 мг/кг) (табл.3). Применение средней и высокой доз стабилизировало его запасы по сравнению с контролем. Потери составили, соответственно, -166 и -194 мг/кг. К концу VI ротации в удобренных вариантах отмечалось возрастание содержания валового азота: +197 мг/кг при  $N_{15}$  и  $N_{39}$ . В варианте  $N_{57}$ , как и на контроле, изменения были менее значительными (+56; +19 мг/кг). К концу VII ротации практически отсутствовали потери в варианте с низкой дозой азота. Значительное снижение содержания валового азота наблюдалось при средней и высокой дозах азота (соответственно – 80 и -32 мг/кг).

Таким образом, основные потери валового азота в слое почвы 0-20 см отмечены в первые пять ротаций севооборота как на контроле, так и в удобренной почве (табл. 2, 3). На контроле и в варианте  $N_{57}$  запасы стабилизировались на уровне V ротации. Применение низкой дозы азота частично, а средней – полностью компенсировало потери в течение VI ротации.

Несмотря на потери валового азота почвы, связанные с его выносом урожаем, изменением микробиологической активности обрабатываемых почв, а также миграцией растворимых азотистых соединений вниз по профилю [2], на протяжении семи ротаций севооборота наблюдалось поддержание гомеостаза почвенного растора в отношении минерального (нитратного) азота. Его содержание перед посевом сельскохозяйственных культур составляло в среднем 6,4-8,5 мг/кг почвы на контроле и от 8,5 до 15,4 мг/кг почвы в вариантах разной степени удобренности [5]. Такая стабильность связана со структурой органического вещества черноземных почв, где происходит депонирование азота с разной степенью энергетической доступности, о чем свидетельствует характер гидролиза [6].

Ближайшим резервом минерального азота почвы является легкогидролизуемая фракция (гидролиз в 0,5 н.  $H_2SO_4$  при нагревании). Согласно полученным ранее данным, ее доля в составе органических форм азота достаточно стабильна – около 8%. Коэффициент вариации

составляет 3,26. Доля фракции трудногидролизуемого азота (гидролиз в 5 н.  $H_2SO_4$  при нагревании) колеблется от 9,4 до 13,7% и является более варибельным с коэффициентом вариации 17,39 [2].

### 3. Влияние минеральных удобрений на содержание азотистых соединений в слое почвы 0-20 см в течение семи ротаций севооборота, мг/кг

Сроки определения	Контроль		$N_{15}P_{14}K_8$		$N_{39}P_{16}K_8$		$N_{57}P_{15}K_8$	
	1	2	1	2	1	2	1	2
<i>Общий азот</i>								
1. Исходные (1969 г.)	2350	-	2350	-	2350	-	2350	-
2. V ротация (1998 г.)	2053	-297	2044	-306	2184	-166	2156	-194
3. VI ротация (2004 г.)	2022	-31	2242	+198	2380	+196	2212	+56
4. VII ротация (2010 г.)	2125	+103	2240	-2	2300	-80	2180	-32
5. Средн. за 7 ротаций	-	-225	-	-110	-	-50	-	-170
<i>Легкогидролизуемая фракция общего азота</i>								
1. Исходные (1969 г.)	192,4	-	192,4	-	192,4	-	192,4	-
2. V ротация (1998 г.)	142,7	-49,7	148,4	-44,0	197,1	+4,7	146,2	-46,2
3. VI ротация (2004 г.)	176,8	+34,1	136,6	-11,8	164,6	-32,5	159,6	+13,4
4. VII ротация (2010 г.)	133,1	-43,7	168,1	+31,5	190,4	+25,8	173,6	+14,0
5. Средн. за 7 ротаций	-	-59,3	-	-24,3	-	-2,0	-	-18,8
<i>Трудногидролизуемая фракция общего азота</i>								
1. Исходные (1969 г.)	246,7	-	246,7	-	246,7	-	246,7	-
2. V ротация (1998 г.)	277,1	+30,4	294,0	+47,3	226,7	-20,0	273,8	+27,1
3. VI ротация (2004 г.)	189,6	-87,5	269,9	-24,1	221,8	-4,9	239,7	-34,1
4. VII ротация (2010 г.)	227,0	+37,4	218,4	-51,5	207,2	-14,6	240,8	+1,1
5. Средн. за 7 ротаций	-	-19,7	-	-28,3	-	-39,5	-	-5,9
<i>Негидролизуемая фракция общего азота</i>								
1. Исходные (1969 г.)	1910,9	-	1855,5	-	1855,5	-	1855,5	-
2. V ротация (1998 г.)	1633,0	-277,9	1602,2	-253,3	1760,4	-95,1	1736,6	-118,9
3. VI ротация (2004 г.)	1707,0	+74,0	1835,3	+233,1	1994,8	+234,4	1813,6	+77,0
4. VII ротация (2010 г.)	1765,5	+58,5	1853,5	+18,2	1902,4	-92,4	1766,7	-46,9
5. Средн. за 7 ротаций	-	-145,4	-	-2,0	-	+46,9	-	-88,8

Примечание. 1-содержание общего азота и его отдельных фракций, 2- изменения по сравнению с предыдущим содержанием.

Изменение степени гидролиза почвенного азота в долгосрочном опыте с применением возрастающих доз азота показало существенные различия в их содержании в зависимости от ротации (табл. 4). Критерий множественного сравнения частных средних свидетельствует о специфичности гидролиземости азота почвы по фракциям. Так резкое снижение содержания валового азота, отмеченное в первые пять ротаций, сопровождалось, прежде всего, возрастанием общей степени гидролиза (с 18,7 до 22,1%) за счет трудногидролизующего азота. Его доля в составе общего азота возрастала

с 10,5 до 15%, в то время как содержание легкогидролизующей фракции снижалось. Существенными за этот период были потери негидролизующего азота (-277,9 мг/кг почвы). Таким образом, поддержание гомеостаза минерального азота, его ближайшего резерва (легкогидролизующей фракции) на фоне снижения содержания валового азота происходит за счет изменения общей структуры органического вещества почвы. В результате резерв гидролизующих фракций пополняется за счет негидролизующего азота (см. табл. 2 и 4).

**4. Степень гидролизующести и доля отдельных фракций азота в слое чернозема южного 0-20 см, %**

Сроки определения	Контроль				N <sub>15</sub> P <sub>14</sub> K <sub>8</sub>				N <sub>39</sub> P <sub>16</sub> K <sub>8</sub>				N <sub>57</sub> P <sub>15</sub> K <sub>8</sub>			
	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4	1	2	3	4
1. Исходные (1969 г.)	18,7	8,2	10,5	81,3	18,7	8,2	10,5	81,3	18,7	8,2	10,5	81,3	18,7	8,2	10,5	81,3
2. V ротация (1998 г.)	22,1	7,1	15,0	77,9	21,7	7,3	14,4	78,3	19,4	9,0	10,4	80,6	19,5	6,8	12,7	80,5
3. VI ротация (2004 г.)	16,5	8,4	8,1	83,5	18,1	6,1	12,0	81,9	16,2	6,9	9,3	83,8	18,0	7,2	10,8	82,0
4. VII ротация (2010 г.)	17,2	6,5	10,7	82,8	17,3	7,5	9,8	82,7	17,3	8,3	9,0	82,7	19,0	8,0	11,0	81,0
Среднее за 7 ротаций	18,6	7,3	11,3	81,4	19,1	7,0	12,1	80,9	17,7	8,1	9,6	82,3	18,8	7,3	11,5	81,2

*Примечание.* 1-степень гидролизующести общего азота почвы, %; 2, 3, 4-доля соответственно легкогидролизующей, трудногидролизующей и негидролизующей фракций от общего количества азота почвы.

Стабилизация содержания валового азота в шестую и седьмую ротации сопровождалась восстановлением «негидролизующего ядра» азотистых соединений с 1633 до 1707 мг/кг, снижением степени гидролиза до 16,5% (см. табл. 4) и увеличением доли «негидролизующего ядра» с 79 до 83-84%.

В структуре потерь валового азота на контроле за семь ротаций севооборота (-225 мг/кг почвы) основная часть приходится на «негидролизующее ядро» азотистых соединений (64,9%), а 26,4% теряется за счет ближайшего источника минерального азота, легкогидролизующей фракции. Более пластична трудногидролизующая фракция как переходная ступень к энергетически более доступному источнику минерального азота. Ее потери составляют 8,8% от общих потерь валового азота.

Минеральные удобрения, являясь источником корневого питания растений и входя в трофические цепи почвенной микрофлоры, стабилизируют запасы общего азота почвы и оказывают дифференцированное влияние на процессы гидролиза органического азота. К концу пятой ротации в вариантах с низкой и высокой дозами азота, как и на контроле, отмечено снижение выхода легкогидролизующей фракции по сравнению с исходными показателями (см. табл.3). В первом случае отрицательная динамика связана с незначительным количеством поступающего удобрения. Высокая доза стимулирует повышенную микробиологическую активность и потребность в минеральном азоте [10]. Поддержание гомеостатического состояния в отношении минерального азота и его ближайших резервов приводит к интенсивному формированию трудногидролизующей фракции на обоих вариантах (+47,3; +27,14 мг/кг к исходному содержанию). Источником для восполнения пула гидролизующих фракций является «негидролизующее ядро» органического вещества, содержание которого к концу пятой ротации снижается во всех удобренных вариантах.

В варианте со средней дозой (N<sub>39</sub>) к концу пятой ротации содержание легкогидролизующего азота остава-

лось стабильным (+4,7 мг/кг по сравнению с исходным). Это связано с восполнением его за счет трудногидролизующей фракции, содержание которой снижается по сравнению с исходным (-19,96 мг/кг) в отличие от вариантов с низкой (N<sub>15</sub>) и высокой (N<sub>57</sub>) дозами азота. Потери негидролизующей фракции здесь минимальны.

Таким образом, внесение средней дозы (N<sub>39</sub>) является оптимальным как для сохранения содержания общего азота, так и для поддержания структуры его запасов. Это имеет большое значение для оптимизации эффективного плодородия почвы.

Как уже отмечалось, стабилизация запасов валового азота связана, прежде всего, с восстановлением его «негидролизующего ядра». В вариантах со средней и минимальной дозами минерального азота, где отмечено более интенсивное восстановление общих запасов в слое почвы 0-20 см от пятой к седьмой ротации, в первую очередь формируется негидролизующая фракция (+235 мг/кг почвы). Накопление легкогидролизующего азота несколько запаздывает и проявляется только к концу седьмой ротации (+31,5; +25,8 мг/кг почвы от шестой к седьмой ротации). Восстановление гомеостатического состояния легкогидролизующего азота (близкого к 8% от общего азота) в этих вариантах происходит за счет трудногидролизующей фракции (-75,6 и -19,54 мг/кг) за две последние ротации севооборота. Очевидна роль средней дозы азота в сохранении структуры общего азота почвы.

Высокая доза минерального азота в меньшей степени по сравнению с низкой и средней благоприятствует формированию «негидролизующего ядра» (+77 мг/кг от пятой к шестой ротации). За последние две ротации здесь отмечено увеличение выхода легкогидролизующей фракции (+27,4 мг/кг). Это становится возможным при сокращении выхода трудногидролизующей фракции (-33,04 мг/кг).

Наблюдения за содержанием общего азота и его качественным составом также показали, что при максимальных его потерях в вариантах без применения удобрений, с минимальной и максимальной дозами мине-

рального азота происходит значительное нарушение структуры азотистых соединений. Содержание фракции, в которой депонируется основная часть азота, снижается в варианте N<sub>57</sub> и на контроле на 145 – 146 мг/кг, в варианте N<sub>15</sub> – на 57,4 мг/кг. В то же время отмечается сокращение ближайшего резерва минерального азота, легкогидролизуемой фракции – от 18,80 (N<sub>57</sub>) до 59,3 мг/кг (контроль). Оптимальным вариантом является N<sub>39</sub>. Здесь максимально сохраняется уровень депонирования азота. Потери составляют всего 11,5 мг/кг. Незначительно теряется легкогидролизуемая фракция (-2,00 мг/кг) при сохранении ее оптимальной доли в составе общего азота (8,3%).

В структуре потерь валового азота в контрольном варианте (без удобрений), а также в вариантах N<sub>15</sub> и N<sub>57</sub> преобладают потери азота негидролизуемого остатка (табл. 4). Оптимальный уровень содержания легкогидролизуемого азота сохраняется в варианте N<sub>39</sub>, где его потери в общей структуре составляют 5,06%. Искусственное поддержание оптимального содержания минерального азота в варианте N<sub>39</sub> обуславливает значительное сокращение запасов трудногидролизуемой фракции: в общей структуре потерь их доля составляет 74,53%.

**Выводы.** Наблюдения за азотным режимом чернозема южного в условиях длительного стационарного опыта с удобрениями показали, что количество валового азота в почве снижается. Интенсивность потерь во многом зависит от уровня применения удобрений.

Максимальные потери общего азота в варианте без удобрений сопровождались значительным нарушением общей структуры азотистых соединений. В основном разрушается «негидролизуемое ядро», на долю которого приходится 65% общих потерь. Довольно высока здесь и убыль легкогидролизуемого азота (59,3 мг/кг), что в общей структуре потерь составляет 26%.

В варианте с максимальной дозой азота (N<sub>57</sub>) его остаточное количество, по-видимому, активизирует микрофлору почвы, что приводит к интенсивной гидролизации «негидролизуемого ядра». В результате на эту фракцию приходится 85,5% общих потерь азота. Таким образом, структура потерь на контроле и в варианте N<sub>57</sub> показывает, что подобное нарушение стабильности органических соединений черноземных почв ведет к мак-

симальной предрасположенности к снижению эффективного плодородия.

Внесение N<sub>39</sub> обеспечило сохранение стабильной структуры азотистых соединений за 42 года наблюдений. Систематическое применение в течение семи ротаций севооборота этой дозы азота оптимизировало степень трансформации азотистых соединений почвы путем сокращения потери азота, депонированного в составе «негидролизуемого ядра» и минимализации потери легкогидролизуемой фракции.

Содержание валового азота и его отдельных фракций варьировало в зависимости как от применения удобрений, так и по ротациям севооборота. Последнее обусловлено изменяющимися гидротермическими условиями в почве. В целом в пахотном слое чернозема южного содержание фракции легкогидролизуемого азота колебалось в пределах 7,0–8,1%, трудногидролизуемого – 9,6–12,1, негидролизуемого – 80,9–82,3% от его валового запаса.

#### Литература

1. Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М. и др. Эффективность длительного применения удобрений в агроценозах степной зоны Саратовского Поволжья в условиях аридного климата / Бюлл. Геосети опытов с удобрениями. Вып. 15 / Под ред. В.Г. Сычева. – М.: ВНИИ-А, 2014. – 56 с.
2. Сайфуллина Л.Б. Процессы гумусообразования в почве под различными элементами агроландшафта в черноземе южном // Автореф. дис... канд. с. – х. н. – Саратов, 2007. – 22 с.
3. Сайфуллина Л.Б., Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Изменение содержания общего углерода и азота в черноземе южном при длительном применении удобрений // Плодородие. – 2016. – №4. – С 19 – 23.
4. Чуб М.П., Потатурина Н.В., Пронько В.В., Бажан Г.Н. Эффективность и баланс фосфора в зернопаровом севообороте на черноземе южном при длительном применении удобрений // Агрохимия. – 2004. – №11. – 18 – 26.
5. Чуб М.П., Потатурина Н.В., Пронько В.В., Сайфуллина Л.Б. Влияние применения удобрений на азотный режим южного чернозема засушливого Поволжья // Агрохимия. – 2005. – №10. – С. 5 – 12.
6. Туев Н.А. Микробиологические процессы гумусообразования. – М.: Агропромиздат, 1989. – 224 с.
7. Ганжара Ф.М., Мироненко С.Ю., Родионова Л.П. Легкоразлагаемое органическое вещество как источник гумуса и минерального азота // Известия ТСХА. – 2001. – Вып. 6. – С. 69 – 80.
8. Агрохимические методы исследования почв. – М.: Наука, 1975. – 656 с.
9. Методические рекомендации по проведению исследований в длительных опытах с удобрениями / Под ред. В.Д. Панникова. – М.: ВИ-УА, 1986. Ч. 1. – 146 с.
10. Минеев В.Г., Ремне Е.Х. Экологические последствия длительного применения повышенных и высоких доз минеральных удобрений // Агрохимия. – 1991. – №3. – С. 35 – 49.

#### FRACTIONAL COMPOSITION OF NITROGEN IN SOUTHERN CHERNOZEM UNDER LONG-TERM MINERAL FERTILIZATION

L.B. Saifullina<sup>1</sup>, M.P. Chub<sup>1</sup>, V.V. Pron'ko<sup>1</sup>, T.M. Yaroshenko<sup>2</sup>, N.F. Klimova<sup>2</sup>, D.Yu. Zhuravlev<sup>2</sup>

<sup>1</sup>NPO Sila Zhizni, ul. Bol'shaya Sadovaya 239, Saratov, 410009 Russia

<sup>2</sup>Southeastern Research Institute of Agriculture, ul. Tulaikova 7, Saratov, 410010 Russia

During 42 years of observations in a long-term stationary experiment carried out on southern chernozem in the Povolzhye region, a decrease in the pools of total nitrogen in the plow soil layer and the 0- to 100-cm soil profile was noted. The decrease in the content of nitrogen was observed in the untreated soil and at the application of different rates of mineral fertilizers. The easily hydrolyzable fraction of soil nitrogen, as determined by the Shkonde-Koroleva method, was subjected to the most significant changes. In the treatments without fertilizers and at the application of high nitrogen rates (N<sub>57</sub> per 1 ha of crop rotation area), an active hydrolyzation of nonhydrolyzable nitrogen compounds was noted. The maintenance of the stable structure of nitrogen compounds in the soil plow layer was ensured by the application of N<sub>39</sub> per 1 ha of crop rotation area.

Keywords: southern chernozem, mineral fertilizers, total soil nitrogen; easily hydrolyzable, hardly hydrolyzable, and nonhydrolyzable nitrogen forms.