

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ НАУЧНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ  
«НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ СЕЛЬСКОГО ХОЗЯЙСТВА  
ЮГО-ВОСТОКА»**

**ЭКОНОМИЧЕСКИ СБАЛАНСИРОВАННЫЕ  
СИСТЕМЫ ДЛИТЕЛЬНОГО ПРИМЕНЕНИЯ  
УДОБРЕНИЙ КУЛЬТУР ЗЕРНОПАРОВОГО  
СЕВООБОРОТА**



Саратов 2017

УДК 631.582: 631.8.003

Экономически сбалансированные системы длительного применения удобрений культур зернопарового севооборота – Саратов, ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока», 2017. – 36 с.

Составители: Т.М. Ярошенко, Д.Ю. Журавлев, Н.Ф. Климова.

Впервые в условиях длительного стационарного опыта с удобрениями для засушливых условий степной зоны Поволжья разработаны оптимальные, экономически эффективные системы удобрений для культур зернопарового севооборота, обеспечивающие их максимальную продуктивность и сохранение плодородия черноземных почв. Работа является уникальным научным материалом для аналитической деятельности ученых и специалистов в области агрономических наук, а также руководством по применению удобрительных ресурсов для работников агропромышленного комплекса Саратовской области.

**Содержание**

Введение	4
1. Цель и задачи исследований	5
2. Условия и методика проведения опыта	5
3. Режим минерального питания при различных системах удобрений	7
4. Урожайность культур и продуктивность севооборота при различных системах удобрений	11
5. Баланс питательных веществ при различных системах удобрений	20
6. Влияние длительного применения удобрений на плодородие чернозема южного	26
Выводы	32
Список использованных источников	35

## Введение

В условиях степной и лугово-степной растительности и континентально-засушливого климата сформировалось главное богатство степной зоны Поволжья – черноземные почвы. Саратовская область, имея в своем распоряжении свыше 8 млн. га сельскохозяйственных угодий (22% от общей их площади во всех республиках и областях Поволжья) стала крупнейшим производителем сельскохозяйственной продукции в Поволжском регионе. Активное сельскохозяйственное использование почв степной зоны Поволжья привело не только к появлению обширных площадей эродированных почв (до 82,9% в Южной правобережной микроразоне), но и высокой степени распаханности земель (свыше 70%). Сложившаяся ситуация усугублялась не только изменением структуры посевных площадей, когда сокращение площадей посевов однолетних трав сопровождалось увеличением площади чистых паров, но и многократным снижением количества применяемых удобрений. Так, если на 1 га посевной площади в 1990 году в Саратовской области применялось 23 кг действующего вещества минеральных удобрений и 1,3 т органических удобрений, то в 2008 г. их применение сократилось до 6 кг и 0,3 т соответственно [7-9]. Вызвано это было как снижением поголовья крупного рогатого скота, так и значительным ростом стоимости минеральных удобрений. На сегодняшний день ситуация с обеспечением агропромышленного комплекса удобрительными ресурсами коренным образом не изменилась. В таких условиях поиск рациональных путей улучшения сложившейся ситуации является приоритетной задачей аграрной науки. Одним из таких путей является разработка оптимальных, экологически сбалансированных и экономически эффективных систем удобрений в севообороте. Для решения этой задачи необходимо использование полевых опытов с удобрениями. При этом наиболее полную информацию об эффективности систем удобрений в севооборотах можно получить только в длительных стационарных опытах. Такие опыты с 1969 года проводятся лабораторией плодородия почв на опытных полях ФГБНУ «НИИСХ Юго-Востока» на черноземе южном [2-6].

## **1. Цели и задачи исследований**

1) Изучить режим минерального питания чернозема южного при различных системах удобрений и разработать оптимальные его уровни для формирования максимальных урожаев.

2) Установить влияние различных систем удобрений на урожайность культур, продуктивность севооборота и качество продукции.

3) Разработать баланс питательных веществ для 8-ой ротации зернопарового севооборота и установить оптимальный уровень их возврата.

4) Изучить изменения основных параметров плодородия чернозема южного за 48 лет систематического применения удобрений.

## **2. Условия и методика проведения исследований**

Опыт расположен на равнинно – плакорном участке агроландшафта.

Почва – чернозем южный, малогумусный, среднемошный, тяжелосуглинистый. Исходная агрохимическая характеристика слоя 0-40 см следующая: содержание гумуса С% - 2,5; общего азота – 0,231; фосфора – 0,119; калия – 1,6%. Обеспеченность подвижным фосфором – низкая (7-12мг/кг), обменным калием – высокая (300-350 мг/кг). Опыт развернут на 3-х полях с повторением во времени. Чередование культур в севообороте следующее: пар черный, озимая пшеница, яровая пшеница, просо, ячмень, овес.

В 2016 году полностью закончена 8-ая ротация севооборота на первом поле. Удобрения вносятся под основную обработку. Схема опыта с вариантами и дозами удобрений представлена в таблице 1. Агротехника опыта типичная для 4-ой микрзоны Саратовской области. Повторность опыта трехкратная, размер опытных делянок 234-305 кв. м. Наблюдения и исследования в опыте проводятся по общепринятым методикам: содержание гумуса определяется по методу Тюрина в модификации ЦИНАО, групповой состав – по ускоренному методу Кононовой – Бельчиковой, валовый азот – по Кьельдалю, валовый фосфор и калий по ГОСТ 26261-84, подвижные формы элементов питания: нитратный азот – ионометрическим методом (ГОСТ 26951-86), аммонийный азот – с реактивом Несслера, доступный фосфор – по Мачигину. Содержание азота,

фосфора и калия в растениях – по Гинзбург-Щегловой. Уборка урожая осуществлялась поделяночно комбайнами Сампо-500, Сампо-2010 террион. Данные урожайности подвергались дисперсионному анализу по Доспехову [1].

Таблица 1 - Дозы применения удобрений в 8-ой ротации зернопарового севооборота в условиях длительного стационарного опыта

№ вар.	Дозы питательных веществ	
	в сумме за ротацию	на 1 га севооборотной площади в год
1	-	Контроль (без удобрений)
2	N200	N33,3
3	P40	P6,7
4	N200P40	N33,3P6,6
5	N240P40	N40,6P6,6
6	N80P40	N13,3P6,6
7	N240P40	N40,6P6,6
8	N160P80	N26,6P13,2
9	N120P40	N20P6,6
10	N200P80	N33P13,2
10a	N160P40	N26,6P6,6
11	N280	N46,6
11a	N280P80	N46,6P13,2
13	-	-
13a	-	-
13б	-	-

Климат района проведения опыта засушливый, коэффициент континентальности 185-200, сумма температур свыше 10° С – 2600- 2800.

За годы проведения исследований в 8-ой ротации в основном преобладали засушливые годы. Из шести опытных лет лишь 2013 год был влажным (ГТК за V-VII месяцы – 1,2), 2014, 2015 и 2016 годы были среднесухими (ГТК – 0,60; 0,70 и 0,73 соответственно), а 2011 и 2012 годы – засушливыми (ГТК- 0,41 и 0,39 соответственно). Все это отрицательно сказалось на продуктивности зернопарового севооборота.

### 3. Режим минерального питания при различных системах удобрений

Перед посевом озимой пшеницы по чистому пару содержание нитратного и аммиачного азота в сумме на контроле составляло 28,5 мг/кг (табл. 1). На удобренных вариантах азотный фонд в 8-ую ротацию севооборота формировался за счет внесения основного удобрения, позднеосенних подкормок, а также остаточных запасов питательных веществ седьмой ротации севооборота. Так, если запасы нитратного азота от применения средней дозы N160-200 в сумме за ротацию увеличивались по отношению к контролю в среднем на 13,0-12,2%, то от повышенной дозы N240-280 - на 42,1-58,7% соответственно.

Неблагоприятные погодные условия периода вегетации озимой пшеницы в 2012 году определили низкий уровень ее урожайности. Высокие запасы нитратного азота при этом оказались в значительной степени не востребованными, поскольку на контрольном варианте в период всходов яровой пшеницы в 2013 году они составляли 60 кг/га. От применения средних и повышенных доз удобрений запасы нитратного азота к контролю выросли в среднем 23,3-36,6%.

Поскольку просо – культура позднего срока сева, то к концу мая за счет процессов нитрификации в почве формируются дополнительные запасы нитратного азота. Так, в условиях нашего опыта под просом в 2014 году на неудобренном фоне в слое 0-40 см накапливалось 54-90 кг/га нитратного азота. При внесении дозы N40 запасы нитратного азота повышались до 104-186 кг/га, а при N60 до 93-328 кг/га. В значительной степени запасы минерального азота формировались и за счет аммиачных форм, которые по отдельным вариантам в слое почвы 0-40 см достигли 66,9-103,0 кг/га (табл. 2).

На ячмене без применения удобрений на контроле накапливалось около 18-21 кг/га нитратного азота. При внесении N40 под основную обработку запасы нитратного азота по сравнению с контрольным вариантом увеличились на 4-18 кг/га, а при N60 - на 29 кг/га.

Запасы нитратного азота в период всходов овса на вариантах опыта не превышали значений контроля, однако накопление его аммиачных форм на удобренных вариантах шло более интенсивно (табл. 2).

Анализ азотного режима в 8-ую ротацию зернопарового севооборота показал, что применение минимальной системы удобрений N80P40 увеличило запасы нитратного азота в среднем за ротацию на 37,6%. Внесение средних доз удобрений N160-200P40-80 повышало почвенные запасы нитратов по сравнению с контролем на 13,0-61,3%, а высоких доз (N240-280P40-80) – в среднем на 43,1-125,3%. Заделка соломы зерновых культур под основную обработку в дополнение к полному минеральному удобрению (N240P40K40) на варианте 5 способствовала увеличению запасов нитратного азота в среднем за ротацию на 12,8 кг/га.

Содержание подвижного фосфора на контрольном варианте в среднем за восьмую ротацию составило 11,5 мг/кг, что оказалось ниже аналогичного показателя седьмой ротации (13,4 мг/кг). На всех вариантах опыта отмечалось постепенное снижение содержания подвижного фосфора по мере его отчуждения культурами севооборота к концу ротации (табл. 3). Как и в предыдущую ротацию, самое высокое содержание подвижных фосфатов отмечалось на варианте 3, где применяются только фосфорные удобрения в дозе P40. На вариантах 8, 10, 11а, где фосфорные удобрения вносились два раза за ротацию (P80), содержание подвижных фосфатов в слое почвы 0-40 см было средним и находилось в пределах 19,3-27,3 мг/кг. На вариантах с применением P40 один раз за ротацию, а также без использования фосфорных удобрений, содержание подвижных фосфатов в почве по Мачигину было сопоставимо с их двукратным применением и было вызвано последствием ранее внесенных фосфорных удобрений в седьмой ротации.



Таблица 2 - Азотный режим в 8-ой ротации зернопарового севооборота при различных системах удобрений в период всходов в слое почвы 0-40 см (2011-2016 гг.)

№ вар.	Озимая пшеница		Яровая пшеница		Просо		Ячмень		Овес		N-NO <sub>3</sub> в кг/га за ротацию					
	N- NO <sub>3</sub>		N-NO <sub>3</sub>		N- NO <sub>3</sub>		N-NO <sub>3</sub>		N-NO <sub>3</sub>							
	мг/кг	кг/га	мг/кг	кг/га	мг/кг	кг/га	мг/кг	кг/га	мг/кг	кг/га						
1	24,0	114	4,5	12,8	60	3,3	11,4	54	6,2	4,5	21	6,7	9,1	43	4,3	58,4
2	29,4	132	8,1	13,1	62	2,9	23,3	110	7,5	6,2	29	7,0	5,0	24	5,4	71,4
3	29,2	131	6,9	17,7	84	5,8	18,5	87	21,7	3,2	15	7,6	6,7	32	5,1	69,8
4	27,0	128	6,1	17,5	83	2,7	28,2	134	14,1	3,8	18	4,5	6,0	29	6,2	78,4
5	38,4	172	4,7	17,0	80	7,0	39,2	186	8,6	3,9	18	4,6	5,5	26	6,9	96,4
6	25,0	118	7,6	14,5	69	4,6	34,5	164	8,8	4,8	22	7,9	6,2	29	8,0	80,4
7	38,1	181	15,8	12,8	60	4,6	26,5	126	17,7	4,8	22	5,0	6,1	29	8,1	83,6
8	26,4	125	5,0	13,7	65	1,9	20,6	97	12,6	4,3	20	4,0	5,0	23	8,5	66,0
9	24,6	116	5,0	14,0	66	1,6	13,9	66	5,5	3,9	18	4,3	5,5	26	4,7	58,4
10	32,5	154	8,1	17,0	80	6,4	22,0	104	5,9	4,7	22	5,4	6,4	30	6,4	78,0
10a	35,9	170	3,3	15,7	74	2,3	34,3	163	8,8	8,2	39	6,3	5,2	25	5,0	94,2
11	34,3	162	6,4	17,4	82	3,4	69,1	328	21,4	10,6	50	6,6	7,7	36	8,5	131,6
11a	26,1	124	7,6	14,8	70	3,2	19,6	93	5,4	6,7	32	4,6	5,9	28	4,3	69,4
13	30,0	142	1,8	11,7	55	3,9	19,1	90	6,9	4,7	22	4,4	5,6	26	9,6	67,0
13a	31,1	148	6,5	14,2	67	3,2	15,8	75	9,2	4,2	20	6,3	7,1	34	9,7	68,8
13б	33,3	157	3,7	10,5	49	1,5	14,4	68	8,5	3,8	18	2,1	4,7	22	7,7	62,8

Таблица 3 - Фосфатный (по Мачигину) и калийный режим в 8-ой ротации зернопарового севооборота при различных системах удобрений в слое 0-40см (мг/кг)

№ вар.	Озимая пшеница по пару		Яровая пшеница		Просо		Ячмень		Овес		В среднем за ро- тацию	
	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
1	13,7	335	11,5	300	10,4	295	12,1	345	10,1	237	11,5	302
2	17,4	335	14,6	272	14,2	337	15,1	358	12,8	190	14,8	298
3	31,0	325	22,6	270	28,2	360	26,9	350	32,7	232	28,2	307
4	23,3	305	21,2	237	15,9	315	20,2	322	11,9	220	19,4	271
5	22,4	307	20,3	235	18,9	305	17,6	276	17,1	232	19,2	271
6	36,6	305	24,3	265	14,9	300	20,0	330	22,1	240	23,5	288
7	20,3	315	16,2	225	12,1	285	19,9	240	15,4	242	16,7	261
8	20,0	332	22,2	262	19,8	350	23,5	235	11,4	205	19,3	277
9	23,9	350	23,5	262	17,6	305	12,9	210	15,7	222	18,7	270
10	21,0	357	32,1	325	20,9	360	20,3	275	11,0	225	21,0	308
10a	22,8	397	22,2	270	19,2	355	22,0	260	13,8	230	20,0	302
11	30,6	385	29,4	290	24,2	400	21,8	260	29,1	290	27,0	325
11a	28,1	400	29,2	280	25,2	415	26,0	305	28,0	240	27,3	328
13	22,9	410	23,6	305	18,5	315	20,8	305	23,6	252	21,8	317
13a	26,5	400	16,9	270	14,1	370	19,5	300	19,7	225	19,3	313
13б	24,7	380	20,3	240	21,0	330	20,2	260	23,4	242	21,9	290

Южные черноземы Правобережья Саратовской области отличаются высоким содержанием обменного калия. По истечении восьми ротаций шестипольного зернопарового севооборота, как на контроле, так и удобренных вариантах, содержание обменного калия сохранялось на высоком уровне (261- 328 мг/кг). При этом, наиболее высокие показатели его содержания в восьмой ротации севооборота по вариантам опыта отмечались на посевах озимой пшеницы и проса (табл. 3).

#### **4. Урожайность культур и продуктивность севооборота при различных системах удобрений**

Засушливые условия вегетационного периода 2012 года на фоне невысокого содержания подвижного фосфора (13,7 мг/кг) определили низкий урожай озимой пшеницы, идущей по чистому пару (0,54 т/га). При этом, на фоне высокой обеспеченности нитратным азотом повышенное содержание подвижных фосфатов за счет остаточного накопления за предыдущую ротацию на варианте 3 способствовало увеличению урожайности по отношению к контролю на 57,4% (табл. 4). Применение N40-60 на вариантах 2, 6, 10а, 11, 11а на фоне средней и высокой обеспеченности подвижным фосфором обеспечило прибавку урожая зерна к контролю от 0,11 до 0,44 т/га. Внесение полного минерального удобрения N40P40K40 под озимую пшеницу (вар. 4, 5, 7, 8, 9, 10) обеспечили достоверную прибавку урожая к контролю в пределах 0,41-0,52 т/га.

При низкой урожайности озимой пшеницы в 2012 году накопленные запасы нитратного азота в чистом пару были слабо задействованы и, в благоприятных погодных условиях вегетационного периода 2013 года, создали дополнительный задел для получения достаточно высокого урожая яровой пшеницы на неудобренном контроле. На вариантах 10а, 11 дозы азотных удобрений N40-60 применялись на фоне хорошей обеспеченности подвижными фосфатами (22,2-29,4 мг/кг), вследствие чего применение полного минерального удобрения N40P40K40 перед одним азотным не имело ощутимого преимущества. Так, если окупаемость 1 кг питательных веществ от применения N40-60 находилась в пределах 9,6-12,0 кг зерна, то при внесении полного удобрения она не превы-

шала 6,8-8,4 кг (табл. 3). Следовательно, на фоне хорошей обеспеченности подвижным фосфором под яровую пшеницу целесообразно применять только азотное удобрение в дозе N40. Внесение под яровую пшеницу соломы зерновых культур (1,5 т/га) в дополнение к N60 на вар. 5 дало прибавку урожая зерна к контролю 0,58 т/га и 0,16 т/га относительно вариантов 7 и 8, где использовались лишь одни азотные удобрения.

В засушливых условиях вегетационного периода 2014 года урожайность проса без применения удобрений была невысокой (1,09 т/га). При этом, применение повышенных доз удобрений (вар. 11, 11а) увеличило урожайность по сравнению с контрольным вариантом на 37,6-58,7% (табл. 3). На варианте 11а доля фосфорных удобрений в прибавке урожая составила 56,1%. Рост урожайности проса по отношению к контролю на варианте 3 от применения только P40 составил 29,3%.

На ячмене в 2015 году прибавка урожая к контролю от N40 на вар. 2 составила 0,35 т/га, от применения N40 на фоне последствия P40 – 0,31-0,57 т/га (табл. 4). Рост продуктивности ячменя в 8-ой ротации севооборота отмечался и на вариантах с повышенными дозами удобрений. Так, если применение N60 без фосфорных удобрений на варианте 11 увеличило урожайность ячменя по отношению к контролю на 0,42 т/га, то от N60 на фоне последствия P80 (вар. 11а) – на 0,51 т/га. При этом, прибавка урожая ячменя от дополнительного применения фосфорных удобрений под яровую пшеницу и просо в целом оказалась невысокой (0,09 т/га) и окупаемость удобрений в среднем за ротацию на вар. 11а была самой низкой по опыту. Причиной тому стало последствие высоких запасов подвижных фосфатов в слое почвы 0-40 см, накопленных на вариантах 11 и 11а в предыдущие ротации севооборота. Аналогичный показатель роста продуктивности ячменя показал вариант 8, где на фоне дозы удобрений N60 прибавка урожая к контролю выросла до 0,53 т/га, а окупаемость 1 кг питательных веществ удобрений - до 7,5 кг зерна. Стабильно высокую продуктивность культур севооборота показывает вар. 5, где минеральные удобрения применяются на фоне внесенной ранее под яровую пшеницу соломы

зерновых культур. Из этого следует, что на посевах ячменя на фоне средней обеспеченности почвы подвижным фосфором целесообразно применять азотные удобрения как в дозе N40, так и N60. При этом, увеличение дозы азотных удобрений способствует не только значительному росту продуктивности ячменя, но и окупаемости удобрений. На фоне низкой обеспеченности фосфором внесение азотных удобрений должно совмещаться с применением P40 один или два раза за ротацию.

Урожайность овса в 2016 году без применения удобрений в опыте была высокой (2,57 т/га). На фоне низкой и средней обеспеченности подвижным фосфором (вар. 2, 4, 5, 7, 10) прибавка урожая к контролю от N40 составляла от 0,21 до 0,84 т/га. На вариантах 8, 9, 10а прибавки урожая зерна получены от последствий ранее внесенных удобрений. На фоне высокой обеспеченности почвы подвижным фосфором на вариантах 11, 11а (28,0-29,1 мг/кг) и последствий ранее внесенных повышенных доз азотных и азотно-фосфорных удобрений, прибавки урожая зерна овса к контролю были самые высокие и составили – 0,95-0,92 т/га соответственно (табл. 4).

Для более полной характеристики различных систем удобрений зернопарового севооборота была проведена оценка его продуктивности в зерновых единицах (табл.3). Проведенный анализ показал, что внесение P40 под просо один раз за ротацию увеличило продуктивность культур к контролю в среднем на 0,30 т/га з. е. в год при самой высокой оплате 1 кг питательных веществ удобрений (19,4 кг зерна).

Таблица 4 - Влияние систем удобрений на урожайность культур и продуктивность зернопарового севооборота в 8-ой ротации (2011-2016 гг.)

№ вар.	Дозы питательных веществ, кг/га							Урожай в т/га и прибавка к контролю						Продуктивность в т/га з.е.		Оплата 1 кг пит. веществ кг зерна
	озимая пшеница	яровая пшеница	просо	ячмень	овес	сумма пит. веществ, кг/га	в среднем в год на 1 га	озимая пшеница	яровая пшеница	просо	ячмень	овес	в среднем в год	в сумме за ротацию	в среднем в год	
1	Контроль (без удобрений)					-	-	0,54	1,48	1,09	0,73	2,57	1,06	8,51	1,41	-
2	N40	N40	N40	N40	N40	N200	N33,3	+0,11	+0,39	+0,02	+0,35	+0,49	+0,22	10,93	1,82	6,6
3	-	-	P40	-	-	P40	P6,7	+0,31	+0,26	+0,32	-0,03	-0,05	+0,13	10,26	1,71	19,4
4	N40P40 K40	N40	N40	N40	N40	N200P40K40	N33,3P6,6 K6,6	+0,44	+0,41	+0,31	+0,45	+0,47	+0,34	11,99	1,99	7,3
5	N40P40 K40	N60+ солома	N40	N60	N40	N240P40K40+ солома	N40,6P6,6 K6,6	+0,41	+0,58	+0,42	+0,52	+0,74	+0,44	12,75	2,12	8,1
6	N40	-	P40	N40	-	N80P40	N13,3P6,6	+0,28	+0,35	+0,07	+0,31	+0,29	+0,21	10,51	1,75	10,5
7	N40P40 K40	N60	N40	N60	N40	N240P40K40	N40,6P6,6 K6,6	+0,42	+0,42	+0,66	+0,46	+0,34	+0,38	12,14	2,02	7,0
8	N40P40 K40	N60	P40	N60	-	N160P80K40	N26,6P13,2 K6,6	+0,43	+0,41	+0,36	+0,53	+0,38	+0,35	11,67	1,94	7,5
9	N40P40 K40	N40	-	N40	-	N120P40K40	N20P6,6K6,6	+0,42	+0,44	+0,26	+0,39	+0,21	+0,28	11,22	1,87	8,4
10	N40P40 K40	N40P40	N40	N40	N40	N200P80K40	N33P13,2K6,6	+0,52	+0,22	+0,17	+0,35	+0,84	+0,35	12,16	2,02	6,6
10a	N40	N40	N40P40	N40	-	N160P40	N26,6P6,6	+0,44	+0,46	+0,40	+0,57	+0,57	+0,40	12,27	2,04	12,0
11	N60	N60	N60	N60	N40	N280	N46,6	+0,19	+0,74	+0,41	+0,42	+0,95	+0,45	12,93	2,15	9,6
11a	N60	N60P40	N60P40	N60	N40	N280P80	N46,6P31,2	+0,08	+0,46	+0,64	+0,51	+0,92	+0,43	12,64	2,10	5,5
13	-	-	-	-	-	-	-	+0,09	+0,49	+0,01	-0,09	0,0	+0,08	9,70	1,61	-
13a	-	-	-	-	-	-	-	+0,08	+0,28	+0,08	+0,24	-0,12	+0,09	9,63	1,60	-
13б	-	-	-	-	-	-	-	+0,28	+0,30	+0,14	+0,18	+0,02	+0,15	10,28	1,71	-
	НСР <sub>05</sub>								0,28			0,31	0,46			

Применение средних доз удобрений N120-200P40-80K40 увеличило продуктивность культур по отношению к контролю в среднем на 0,46-0,63 т/га з. е. в год. На вариантах с повышенными дозами удобрений N240-280P40-80K40 среднегодовые прибавки к контролю составили 0,61-0,74 т/га з. е. в год при оплате 1 кг питательных веществ от 5,5 до 9,6 кг зерна.

На варианте 6 с минимальной системой удобрений (N80P40), где P40 вносили под просо, а N40 под ячмень и в позднеосеннюю подкормку озимой пшеницы, рост продуктивности культур был сопоставим с вар. 3 при значительно более низкой окупаемости удобрений (10,5 кг зерна). Применение повышенных доз азотных удобрений на вар. 11 (N280) на фоне высокой обеспеченности подвижным фосфором обеспечило наибольшую продуктивность зернопарового севооборота (2,15 т/га з. е.) при оплате 1 кг питательных веществ удобрений – 9,6 кг зерна. Внесение фосфорных удобрений (P80) в дополнение к N280 на вар. 11а при высокой обеспеченности подвижными фосфатами оказалось нецелесообразным, поскольку не способствовало дополнительному росту продуктивности культур севооборота. Неплохие показатели продуктивности и окупаемости удобрений продемонстрировал вар. 10а, где применение N160P40 увеличило продуктивность севооборота по сравнению с контролем на 37,5%, а оплата 1 кг питательных веществ удобрений составила 12,0 кг зерна.

Одним из основных показателей качества урожая сельскохозяйственных культур является содержание белка в зерне, которое зависит от величины урожая и уровня азотного питания. Большие запасы нитратного азота, накопленные в чистом пару к периоду посева озимой пшеницы в 2011 году при низкой урожайности, вызванной неблагоприятными погодными условиями, способствовали высокому содержанию белка в зерне на неудобренном контроле. При внесении различных доз удобрений рост продуктивности озимой пшеницы сопровождался увеличением потребности в азотном питании, что привело к снижению содержания белка в зерне на вариантах опыта по сравнению с контролем (табл. 5).

Таблица 5 - Влияние систем удобрений в 8-ой ротации севооборота на содержание белка в зерне

№ вар.	Озимая пшеница по пару (2011-2012)		Яровая пшеница (2013)		Просо (2014)		Ячмень (2015)		Овес (2016)	
	% белка	Увел-ие к контролю	% белка	Увел-ие к контролю	% белка	Увел-ие к контролю	% белка	Увел-ие к контролю	% белка	Увел-ие к контролю
1	19,8	-	14,3	-	13,4	-	25,9	-	11,1	-
2	20,3	+0,5	15,2	+0,9	11,4	-2,0	24,2	-1,7	9,9	-1,2
3	15,2	-4,6	13,6	-0,7	11,1	-2,3	24,5	-1,4	8,6	-2,5
4	15,7	-4,1	14,1	-0,2	9,8	-3,6	22,3	-3,6	8,1	-3,0
5	18,9	-0,9	17,3	+3,0	10,7	-2,7	21,5	-4,4	9,9	-1,2
6	15,9	-3,9	15,0	+0,7	11,4	-2,0	21,2	-4,7	9,9	-1,2
7	18,2	-1,6	15,2	+0,9	9,8	-3,6	21,5	-4,4	10,5	-0,6
8	18,7	-1,1	15,0	+0,7	9,1	-4,3	22,3	-3,6	8,9	-2,2
9	16,4	-3,4	14,1	-0,2	10,7	-2,7	19,1	-6,8	9,9	-1,2
10	18,9	-0,9	16,8	+2,5	10,7	-2,7	17,5	-8,4	12,7	+1,6
10a	18,0	-1,8	15,9	+1,6	10,9	-2,5	16,9	-9,0	10,0	-1,1
11	20,9	+1,1	17,7	+3,4	12,3	-1,1	23,7	-2,2	11,3	+0,2
11a	19,1	-0,7	15,5	+1,2	9,3	-4,1	21,7	-4,2	13,1	+2,0
13	19,6	-0,2	16,1	+1,8	12,3	-1,1	20,9	-5,0	9,3	-1,8
13a	16,4	-3,4	16,8	+2,5	7,9	-5,5	22,4	-3,5	9,8	-1,3
13б	19,4	-0,4	16,1	+1,8	10,7	-2,7	20,1	-5,8	9,5	-1,6



На яровой пшенице обеспеченность почвы элементами питания без применения удобрений была достаточной для получения урожая зерна - 1,48 т/га при высоком содержании белка (14,3%). Вместе с тем, внесение минеральных удобрений не только увеличивало продуктивность яровой пшеницы, но и повышало качество полученного урожая зерна. Так, максимальная прибавка урожая к контролю была получена от повышенных доз азотных удобрений на вар. 11 (N280) и составила – 0,74 т/га, при этом содержания белка в зерне увеличилось с 14,3 до 17,7%.

Несмотря на низкую продуктивность проса (1,09 т/га на контроле) в засушливых условиях 2014 года, применение удобрений, как и в случае с яровой пшеницей сопровождалось ростом продуктивности (от 14,8 до 50,0%), но при этом уменьшалось содержание белка в зерне (на 8,2-32,0%). Максимальное снижение белковости зерна по отношению к контролю было отмечено на вар. 8 (32,1%) и 11а (30,6%) при получении прибавок урожая зерна – 0,36 и 0,64 т/га соответственно.

На ячмене в 2015 году рост урожайности от применения минеральных удобрений на вариантах опыта по отношению к контролю составил - 42 – 78%. В то же время на фоне роста продуктивности ячменя содержание белка на удобренных вариантах по сравнению с контролем заметно снижалось (табл. 5).

В условиях 2016 года внесение высоких доз минеральных удобрений на вариантах 11 и 11а было достаточно как для получения хороших прибавок урожая зерна (0,95-0,92 т/га), так и для высокого содержания в нем белка. При этом влияние на продуктивность овса оказывало также последствие ранее внесенных удобрений.

Самую высокую экономическую эффективность в 8-ой ротации зернопарового севооборота показал вариант 3, где применялись одни фосфорные удобрения в дозе P40 под основную обработку чистого пара один раз за ротацию (уровень рентабельности 206%). Хорошо проявили себя варианты со средней N160P40 (вар. 10а) и повышенной N280 (вар. 11) дозами удобрений (уровень рентабельности 129 и 82% соответственно). Внесение P40 два раза за ротацию в

дополнение к N280 на вар. 11а привело к значительному снижению экономических показателей (табл. 6). Хороший экономический эффект был получен от применения минимальной системы удобрений N80P40 (вар. 6). Внесение полного минерального удобрения при увеличении дозы азота с N120 до N240 приводило к росту затрат, которые не покрывались стоимостью дополнительных прибавок урожая. Так, если на варианте 9 (N120P40K40) уровень рентабельности составил 74%, то с увеличением доз удобрений на вариантах 8 (N160P80K40) и 7 (N240P40K40) этот показатель снизился до 41 и 34% соответственно (табл. 6). На вариантах 13, 13а и 13б, где в восьмой ротации зернопарового севооборота удобрения не применялись, высокий условно-чистый доход получен от последствий ранее внесенных удобрений. Дополнительное внесение соломы из расчета 1,5 т/га под яровую пшеницу на вар. 5 повысило рентабельность культур севооборота в сумме за ротацию на 10% по сравнению с вар. 7, где при аналогичной дозе минеральных удобрений (N240P40K40) солома зерновых культур не применялась.

Таблица 6 - Экономическая эффективность применения удобрений в 8-ой ротации зернопарового севооборота (2011-2016гг.)

№ вар.	Затраты на удобрения, внесение и доработку продукции, руб./га за ротацию	Стоимость прибавки урожая, руб./га за ротацию	Условно – чистый доход в рублях	Уровень рентабельности, %
1	-	-	-	-
2	8929,5	11790	2860,5	32
3	2407,6	7383	4975,4	206
4	12372,6	17860	5517,4	44
5	15542,3	22441	6898,7	44
6	5961,5	11762	5800,5	97
7	14017,5	18846	4828,5	34
8	12800,8	18036	5235,2	41
9	8822,2	15394	6571,8	74
10	14071,4	17681	3609,6	25
10a	8953,2	20560	11606,8	129
11	12277,5	22402	10124,5	82
11a	15663,7	19926	4262,3	27
13	-	-	6329,6	-
13a	-	-	3895,0	-
13б	-	-	6275,6	-

## 5. Баланс питательных веществ при различных системах удобрений

В восьмой ротации зернопарового севооборота (2011-2016 гг.) количество среднесухих и засушливых лет значительно преобладало над влажными. Вместе с тем, даже в годы с неблагоприятными погодными условиями периода вегетации, эффективность применения различных доз удобрений была достаточно высокой.

При низкой обеспеченности почвы подвижными фосфатами на вар. 2 коэффициент использования азотных удобрений составил 32,7%. На вариантах 5, 7, 8, 9 средняя обеспеченность фосфором при применении азотно-фосфорных удобрений способствовала повышению коэффициента использования азота удобрений до 33,7 – 49,0% (табл. 7). Эта тенденция сохранялась и при внесении повышенных доз азотных удобрений на вариантах 11 и 11а. По сравнению с вариантом 3, где на протяжении всего периода исследований применялись лишь одни фосфорные удобрения, их совместное использование с азотными обеспечило увеличение коэффициентов использования фосфора удобрений по сравнению с вариантом 3 в среднем на 24,2 – 95,4%. На варианте 11а повышенные дозы минеральных удобрений применялись на фоне высокой обеспеченности почвы подвижными фосфатами (27 мг/кг по Мачигину), что предопределило низкий коэффициент использования фосфора удобрений (12,1%).

Определение баланса питательных веществ в 8-ой ротации зернопарового севооборота позволило установить их уровень возврата при различных системах удобрений (табл. 8).

В расходную статью при расчете баланса азота включался его вынос с урожаем, потери на денитрификацию (15% от дозы) и эрозию – 2 кг/га в год. В приходную статью – поступление азота с удобрениями, осадками (5кг/га в год), за счет несимбиотической азотфиксации (5кг/га в год на неудобренном и 10кг/га – удобренном фонах), 3,5 кг/га с семенами.

При расчете баланса фосфора и калия в расходную часть включался их вынос с урожаем, потери на эрозию (0,9 кг/га  $P_2O_5$  и 1,2 кг  $K_2O$  в год), в при-

ходную - поступление с удобрениями и семенами (1,2 кг  $P_2O_5$  и 0,9 кг  $K_2O$  на 1 га в год).

Расчет баланса питательных веществ показал, что уровень возврата азота на контроле за счет естественных источников составлял 31% от его расходной части. Применение одних фосфорных удобрений на вар. 3 существенного влияния на баланс азота не оказало (табл. 8). При этом, применение минимальной системы удобрений на вар. 6 (N80P40) увеличило интенсивность баланса азота по сравнению с контролем в два раза. Применение средних доз азота N160-240 (вар. 7, 8, 10, 10а) увеличило уровень возврата азота по сравнению с контролем до 70,1 – 93,0%. На вариантах с повышенными дозами азотных удобрений (N280) расход азота в опыте был максимальным, что объясняется самой высокой продуктивностью культур зернопарового севооборота в 8-ой ротации на этих вариантах. Вместе с тем, при наибольших значениях приходной части баланса азота на вар. 11 и 11а, также сохранился его высокий уровень возврата (88,4-89,2%). Внесение P40 один раз за ротацию на вар. 3 увеличило интенсивность баланса фосфора по сравнению с контролем с 9,2 до 35,7% (табл. 8). Совместное применение P40 с N80-200 благодаря ранее накопленным высоким запасам подвижных фосфатов существенно не изменяло интенсивность баланса фосфора в сравнении с вар. 3 (P40). Применение P80 на вар. 8, 10, 11а два раза за ротацию увеличило уровень возврата фосфора по сравнению с контролем с 9,2 до 53,3 – 65,1%.

Без применения удобрений дефицит калия на контроле составлял 35,1 кг/га в год. В целом по опыту уровень возврата калия оставался на низком уровне и не превышал 15,7%. Высокое содержание обменного калия в почве, частично обусловленное переходом его труднорастворимых форм в доступные, восполняет существующий дефицит.

Таблица 7 - Среднегодовой вынос элементов питания и коэффициент использования удобрений при различных системах удобрений в 8-ой ротации севооборота (2011-2016 гг.)

№ вар.	Вынос питательных веществ, кг/га в год			Коэффициент использования удобрений,%. (разностный метод)	
	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
1	40,7	19,6	33,9	-	-
2	51,6	19,6	42,9	32,7	-
3	41,7	21,2	41,8	-	23,9
4	48,6	21,2	49,8	20,7	24,2
5	59,4	22,0	54,8	43,6	36,3
6	45,5	21,6	44,2	28,6	30,3
7	55,4	25,9	47,4	33,7	95,4
8	52,4	26,1	46,7	40,2	49,2
9	51,5	25,4	46,4	49,0	87,8
10	60,3	24,5	53,7	56,3	37,1
10a	58,3	22,8	50,3	62,4	48,5
11	64,6	23,1	54,9	51,3	-
11a	64,0	21,2	56,1	47,8	12,1
13	40,4	19,1	41,8	-	-
13a	44,1	18,1	42,1	-	-
13б	48,6	21,4	43,1	-	-

Таблица 8 - Баланс питательных веществ при различных системах удобрений в 8-ой ротации зернопарового севооборота, кг/га (2011-2016 гг.)

№ вар.	N				P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>				K <sub>2</sub> O			
	Приход (+)	Расход (-)	Баланс (+ -)	Интенсивность баланса %	Приход (+)	Расход (-)	Баланс (+-)	Интенсивность баланса %	Приход (+)	Расход (-)	Баланс (+-)	Интенсивность баланса %
1	13,5	42,7	-29,2	31,6	1,9	20,5	-18,6	9,2	0,9	35,1	-34,2	2,5
2	51,8	58,6	-6,8	88,4	1,9	20,5	-18,6	9,2	0,9	44,1	-43,2	2,0
3	13,5	43,7	-30,2	30,9	7,9	22,1	-14,2	35,7	0,9	43,0	-42,1	2,1
4	51,8	55,6	-3,8	93,1	7,8	22,1	-14,3	35,3	0,9	51,0	-43,5	1,8
5	59,1	67,5	-8,4	87,5	7,8	22,9	-15,1	34,0	0,9	56,0	-48,5	1,6
6	31,8	49,5	-17,7	64,2	7,8	22,5	-14,7	34,6	0,9	45,4	-44,5	2,0
7	59,1	63,5	-4,4	93,0	7,8	26,8	-19,0	29,1	0,9	48,6	-41,1	1,9
8	45,1	58,4	-13,3	77,2	14,4	27,0	-12,6	53,3	0,9	47,9	-40,4	1,9
9	38,5	56,5	-18,0	68,1	7,8	26,3	-18,5	29,6	0,9	47,6	-40,1	1,9
10	51,5	67,2	-15,7	76,6	14,4	25,4	-11,0	56,7	0,9	54,9	-47,4	1,6
10a	45,1	64,3	-19,2	70,1	7,8	23,7	-15,9	32,9	0,9	51,5	-50,6	1,7
11	65,1	73,6	-8,5	88,4	1,9	24,0	-22,1	7,9	0,9	56,1	-55,2	1,6
11a	65,1	73,0	-7,9	89,2	14,4	22,1	-7,7	65,1	0,9	57,3	-56,4	1,5
13	13,5	42,4	-28,9	31,8	1,9	20,0	-18,1	9,5	0,9	43,0	-42,1	2,1
13a	13,5	46,1	-32,6	29,3	1,9	19,0	-17,1	10,0	0,9	43,3	-42,4	2,0
13б	13,5	50,6	-37,1	26,7	1,9	22,3	-20,4	8,5	0,9	44,3	-43,4	2,0

За 8 ротаций шестипольного зернопарового севооборота запасы органического вещества почвы претерпели значительные изменения. На контроле без применения удобрений по сравнению с исходными данными содержание органического углерода снизилось на 13,6% (табл. 9, рис. 1). Применение минимальной системы удобрений на вар. 6 (N80P40) частично компенсировали его потери по сравнению с контролем (снижение к исходным данным на 9,6%). С увеличением доз минеральных удобрений до средних (вар. 7, 8, 9) и повышенных (вар. 11а) дефицит органического вещества возрастал, что было вызвано повышением микробиологической активности почвы и ростом продуктивности культур севооборота (табл. 9).

На некосимой залежи и в бессменном пару определение гумуса проводилось в 2004 году, но поскольку изменения в гумусовом слое происходят в течение длительного времени, мы посчитали возможным сопоставить содержание гумуса (С) в этих объектах с содержанием гумуса в старопахотных почвах длительного опыта (табл. 9).

Оказалось, что накопление гумуса в некосимой залежи происходит в основном в слое 0-20 см. По сравнению со старопахотными землями содержание гумуса увеличилось на 25,4 т/га. В слое 20-40 см запасы гумуса мало отличались от старопахотных земель.

В бессменном пару изменения в гумусовом состоянии южного чернозема были более существенны, что по – видимому, связано как с минерализацией гумуса, так и с более активными эрозионными процессами.

По сравнению со старопахотными участками запасы гумуса (С) в бессменном пару снизились на 24,2 т/га, минерализация гумуса происходила по всему профилю слоя до 40 см, однако в слое 0-20 см она была выше.



Таблица 9 - Изменение запасов органического вещества после 8-ой ротации шестипольного зернопарового севооборота (1 поле)

№ вар.	Годы	0-20 см		20-40 см		Запас в слое 0-40см, т/га	Дефицит (+-)	В среднем в год, т/га	Коэффициент минерализации С (%) в слое 0-20см	Гумус в слое 0-20см, %
		%	т/га	%	т/га					
1	1969	2,60	60,6	2,40	58,9	119,5	-	-	-	-
1	2016	2,16	49,8	2,16	52,7	102,5	-17,0	-0,354	0,0091	0,0157
6	2016	2,23	51,3	2,30	56,1	107,4	-12,1	-0,252	0,0077	0,0133
8	2016	2,23	51,3	1,82	44,4	95,7	-23,8	-0,495	0,0077	0,0133
9	2016	2,30	52,9	1,96	47,8	100,7	-18,8	-0,391	0,0062	0,0107
7	2016	2,43	55,9	2,16	52,7	108,6	-10,9	-0,227	0,0035	0,0060
11а	2016	2,23	51,3	2,03	49,5	100,8	-18,7	-0,389	0,0077	0,0133
Некосимая залежь	2004	3,63	83,4	2,21	54,1	137,5	-	-	-	-
Бессменный пар	2004	1,77	40,7	1,93	47,2	87,9	-	-	-	-

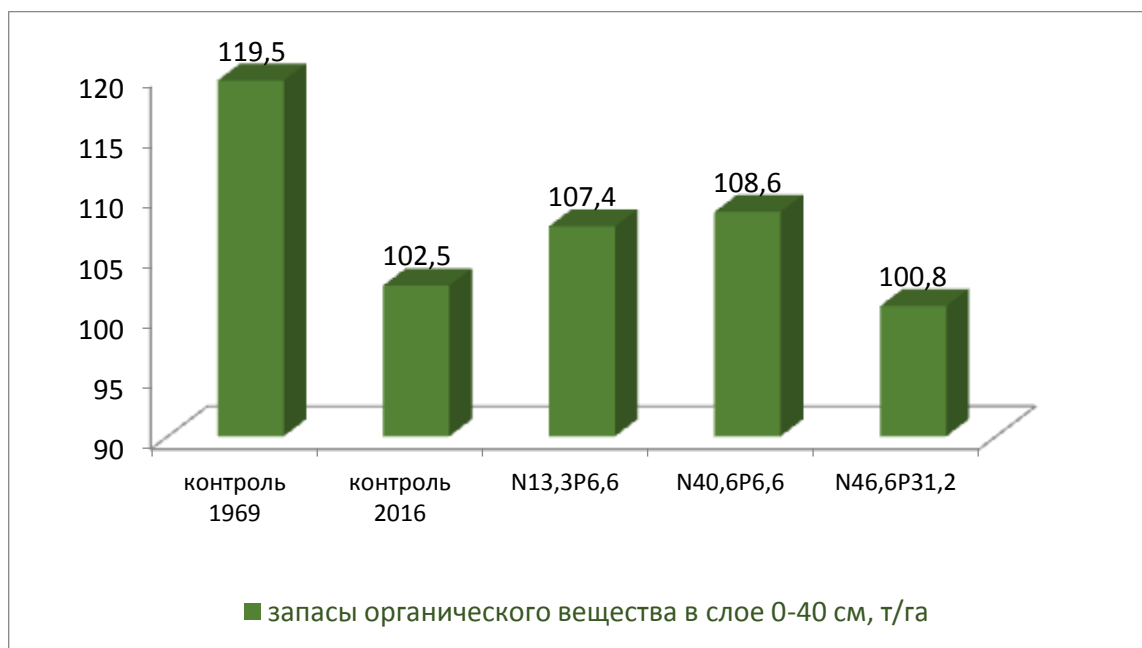


Рис. 1. Изменение запасов органического вещества после 8-ой ротации шестипольного зернопарового севооборота

### **6. Влияние длительного применения удобрений на плодородие чернозема южного**

Мониторинг агрохимических и физико-химических свойств почв в условиях длительных стационарных опытов с удобрениями позволяет не только с высокой точностью определить характер изменений почвенного плодородия, но и выбрать оптимальные, экономически и экологически сбалансированные системы удобрений в севооборотах.

В течение 8 ротаций зернопарового севооборота фракционный состав гумуса чернозема южного претерпел существенные изменения. На всех вариантах опыта отмечалось не только снижение содержания органического углерода, но и доли в нем гуминовых кислот. На вариантах с применением минимальных (вар. 6) и средних доз удобрений (вар. 8, 9) минерализационные процессы затронули также фракцию фульвокислот, что способствовало установлению отношения гуминовых кислот к фульвокислотам на уровне исходных данных (табл. 10). Самые существенные изменения фракционного состава гумуса, имеющие крайне негативный характер, отмечались на контрольном варианте

без применения удобрений. Так, если по сравнению с исходными данными на контроле в 2016 году доля гуминовых кислот в слое почвы 0-20 и 20-40 см снизилась на 31,5 и 21,6 % соответственно, то доля фульвокислот значительно возросла (на 75,5-39,8 %). При этом, соотношение гуминовых кислот к фульвокислотам на контроле в слое почвы 0-20 и 20-40 см уменьшилось в 2,7 и 1,9 раза соответственно, что говорит об увеличении подвижности гумуса.

Также показатель отношения углерода к азоту из всех вариантов опыта на контроле был самым низким и сопровождался высоким содержанием валового азота по сравнению с исходными данными как в слое 0-20, так и 20-40 см. Учитывая общее снижение гумусированности контрольного варианта по истечении 8 ротаций зернопарового севооборота, это говорит о значительной активности негативных процессов минерализации, затрагивающих высокомолекулярные органические вещества гумусовой природы, прочно связанных с минеральной частью почвы. Подобные изменения можно было также наблюдать на вариантах 6 и 7.

Содержание валовых запасов фосфора на контроле по сравнению с исходными данными не изменились, в то время как на удобренных вариантах содержание валового фосфора увеличилось (табл. 10). Так, на вариантах 7 и 8 запасы валового фосфора в слое 0-20 см увеличились к исходному контролю на 115 кг/га, а на вариантах 6 и 9 – на 276 кг/га. Таким образом, внесение фосфорных удобрений не только повышало продуктивность культур севооборота, но и создавало дополнительные запасы этого элемента питания.

За 48 лет сельскохозяйственного использования чернозема южного с применением удобрений, его физико-химические свойства претерпели определенные изменения. Некоторое снижение суммы обменно-поглощенных оснований отмечалось как на контроле, так и на удобренных вариантах (табл. 10). При этом, применение удобрений способствовало усилению этого процесса. Необходимо отметить то, что снижение суммы обменно-поглощенных оснований произошло в большей степени за счет потери катионов магния, в то время как содержание поглощенного кальция изменилось незначительно.

Таблица 10 - Изменение агрохимических свойств чернозема южного при длительном применении минеральных удобрений (за 48 лет)

№ вар.	Слой, см	С% общ., %	% С				Валовое содержание,%				Поглощенные основания, мг-экв/100 г почвы				рН	Нг, мг- экв/ 100 г почвы
			ГК	ФК	СГК /СФК	С лаб.	N	С : N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	Ca <sup>++</sup>	Mg <sup>++</sup>	Na <sup>+</sup>	сум- ма		
1968 год (исходные данные)																
Контроль (без удобрений)	0-20	2,60	36,2	10,2	3,5	-	0,234	11,1	0,120	1,68	37,4	12,2	-	49,6	7,30	0,18
	20-40	2,40	28,2	12,3	2,3	-	0,228	10,5	0,118	1,67	39,6	10,7	-	50,0	7,40	0,21
2016 год																
1	0-20	2,16	24,8	17,9	1,3	2,4	0,216	8,1	0,121	1,66	38,0	10,0	0,24	48,24	7,17	0,38
	20-40	2,16	22,1	17,2	1,2	1,7	0,213	8,3	0,119	1,60	37,4	9,5	0,23	47,13	7,18	0,38
6	0-20	2,23	30,8	8,0	3,8	5,0	0,266	8,4	0,132	-	37,8	4,5	0,27	42,57	7,16	0,39
	20-40	2,30	26,0	8,4	3,0	5,5	0,245	9,4	0,120	-	38,6	5,5	0,28	44,38	7,21	0,38
8	0-20	2,23	30,8	8,7	3,5	5,0	0,238	9,3	0,125	1,51	37,2	7,5	0,28	44,98	7,21	0,38
	20-40	1,82	24,5	9,8	2,5	3,6	0,189	9,6	0,119	1,53	36,0	6,5	0,26	42,76	7,24	0,35
9	0-20	2,30	29,9	7,1	4,1	2,9	0,210	10,9	0,132	-	-	-	-	-	-	-
	20-40	1,96	30,5	9,9	3,0	3,4	0,203	9,6	0,132	-	-	-	-	-	-	-
7	0-20	2,43	28,4	10,4	2,7	8,3	0,238	10,2	0,125	-	34,2	8,5	0,25	42,95	7,18	0,39
	20-40	2,16	29,0	10,3	2,7	5,1	0,245	8,8	0,132	-	39,0	4,0	0,27	43,27	7,21	0,38
11a	0-20	2,23	24,1	11,4	2,1	3,6	0,217	10,2	0,112	1,52	40,0	5,5	0,29	45,19	7,20	0,35
	20-40	2,03	28,0	11,0	2,5	4,8	0,217	9,3	0,132	1,67	37,2	5,0	0,28	42,48	7,21	0,36
НСР <sub>05</sub>	0-20	0,103	2,79									1,8		2,14		
	20-40	0,165	1,39									2,4		3,84		

За весь период исследований удобрения не оказали никакого влияния на содержание поглощенного натрия. Показатели актуальной кислотности почвы на всех вариантах опыта как в слое 0-20, так и 20-40 см не изменились, а гидролитическая кислотность хоть и выросла по сравнению с исходными данными, но все же остается на очень низком уровне.

За 8 ротаций зернопарового севооборота произошли изменения в азотном фонде чернозема южного (табл. 11). Длительное применение удобрений способствовало росту содержания минерального азота на удобренных вариантах. Увеличение микробиологической активности почвы и рост продуктивности культур на варианте 11а стал причиной снижения содержания валового азота.

Таблица 11 - Изменение фракционного состава азота за 48 лет на вариантах длительного применения удобрений (I-VIII)

№ варианта	Глубина, см	Фракционный состав азота, мг/кг				
		Минеральный азот N-NO <sub>3</sub> <sup>+</sup> NH <sub>4</sub>	Легко-гидролизуемый	Трудно-гидролизуемый	Негидролизуемый	Валовый азот
1969 год						
Контроль (исходные данные)	0-20	18,0 / 0,77	160,9 / 6,9	131 / 5,6	2030 / 86,7	2340 / 100
2016 год						
1	0-20	17,3 / 0,80	70,2 / 3,2	123,1 / 5,7	1950 / 90,3	2160 / 100
8	0-20	20,4 / 0,85	81,2 / 3,4	131,6 / 5,5	2146 / 90,1	2380 / 100
11а	0-20	19,6 / 0,90	112,0 / 5,1	81,2 / 3,7	1957 / 90,1	2170 / 100

При этом, исходя из доли во фракционном составе негидролизуемых и трудногидролизуемых форм, потери общего азота происходили за счет разрушения наиболее сложных и фундаментальных органических соединений почвы. Вместе с тем, по сравнению с исходными данными, высокая потребность сельскохозяйственных культур в азотном питании стала причиной значительного снижения (в 2 раза на контроле и вар. 8 с применением средних доз азотных удобрений) содержания фракции легкогидролизуемого азота, являющегося важным резервом для роста и развития культурных растений. При внесении по-

вышенных доз азотных удобрений (вар. 11а) потери фракции легкогидролизуемого азота снижались.

По всей видимости, восполнение запасов легкогидролизуемого азота на варианте 11а происходило за счет частичного перехода трудногидролизуемых форм в более доступные.

За прошедшие 48 лет фонд минеральных фосфатов чернозема южного также подвергся трансформации. Несмотря на то, что сумма минеральных фосфатов по некоторым вариантам не имела существенных изменений, содержание доступных растениям рыхлосвязанных фосфатов первой группы как на контроле, так и удобренных вариантах значительно уменьшилось (табл. 12).

Таблица 12 - Изменение группового состава минеральных фосфатов за 48 лет на вариантах длительного применения удобрений (I-VIII)

№ вар.	Глубина, см	Фракционный состав фосфора, мг/кг				
		Рыхлосвязанные 1н NH <sub>4</sub> Cl 1 группа	P-Al, Ca 0,5н NH <sub>4</sub> F 2 группа	P-Fe 0,1н NaOH 3 группа	P-Ca 0,5 H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> 4 группа	Сумма
1969 год						
Контроль (исходные данные)	0-20	2,1/ 4,8	2,9/ 6,7	2,6/ 6,0	36,4/ 83,0	43,4/ 100
2016 год						
1	0-20	0,6/ 1,4	3,1/ 7,2	2,5/ 5,8	36,7/ 85,5	42,9/ 100
6	0-20	0,2/ 0,4	3,1/ 7,5	1,9/ 4,6	36,0/ 87,3	41,2/ 100
8	0-20	0,6	1,9	2,9	-	-
11а	0-20	0,6/ 1,1	4,6/ 8,5	Сл.	48,7/ 90,3	53,9/ 100

При применении минимальной системы удобрений на вар. 6, где интенсивность баланса по фосфору составляла лишь 34,6 %, потери фосфатов первой группы были максимальными. Также на этом варианте отмечалось снижение (на 26,9 %) по сравнению с исходными данными фосфатов железа. На варианте 8, где применялись средние дозы удобрений снижение содержания фосфатов первой группы, хоть и в меньшей степени, сопровождалось уменьшением фракции фосфатов алюминия и кальция. Систематическое внесение повышен-

ных доз удобрений на варианте 11а не способствовало улучшению состояния фонда доступных фосфатов первой группы по сравнению с исходными данными, а увеличение их суммы в целом происходило за счет дополнительного накопления труднодоступных форм второй и нерастворимых фосфатов четвертой группы.

Учитывая несущественные изменения суммы минеральных фосфатов на вариантах опыта в сравнении с исходными данными и масштабы выноса фосфора культурами зернопарового севооборота за 48 лет, можно утверждать, что на южном черноземе пополнение фонда минеральных фосфатов идет постоянно за счет минерализации органических соединений, а применение даже небольших доз фосфорных удобрений позволяет сохранять благоприятный фосфатный режим.

### **Выводы**

1. В восьмой ротации зернопарового севооборота самый высокий уровень рентабельности показал вариант 3 (206 %), где применялись фосфорные удобрения в дозе P40 под основную обработку чистого пара один раз за ротацию. С лучшей стороны проявили себя варианты со средней N160P40 (вар. 10а) и повышенной N280 (вар. 11) дозами удобрений (уровень рентабельности 129 и 82% соответственно), где показатели условно-чистого дохода в рублях достигли максимальных значений в опыте. Внесение P40 два раза за ротацию в дополнение к N280 на вар. 11а не способствовало росту продуктивности культур севооборота и привело к значительному снижению экономических показателей. Хороший экономический эффект был получен от применения минимальной системы удобрений N80P40 (вар. 6).

2. Анализ азотного режима в 8-ую ротацию зернопарового севооборота показал, что при минимальной системы удобрений (N80P40) запасы нитратного азота в среднем за ротацию в слое 0-40 см составляли - 69,8 кг/га, что было выше среднегодового значения контроля на 37,6%. Внесение средних доз удобрений N160-200P40-80 повышало почвенные запасы нитратов по сравнению с контролем на 13,0-61,3%, а высоких доз (N240-280P40-80) – в среднем на 43,1-

125,3%. Внесение соломы зерновых культур в дополнение к полному минеральному удобрению (N240P40K40) на варианте 5 увеличило запасы нитратного азота в среднем за ротацию на 12,8 кг/га.

3. Самое высокое содержание подвижных фосфатов отмечалось на варианте 3, где применяются только фосфорные удобрения один раз за ротацию в дозе P40. Там, где они вносились два раза за ротацию (P80), их содержание в слое почвы 0-40 см было средним и находилось в пределах 19,3-27,3 мг/кг. На других же вариантах среднее содержание фосфора в почве было обусловлено последствием ранее внесенных фосфорных удобрений в предыдущие ротации.

4. На контроле уровень возврата азота за счет естественных источников составлял 31% от его расходной части, в то время как внесение одних фосфорных удобрений на вар. 3 существенного влияния на баланс азота не оказало. При минимальной системе удобрений на вар. 6 (N80P40) интенсивность баланса азота по сравнению с контролем увеличилась до 64,2%, а при средних дозах (N160-240) до - 70,1 – 93,0%. На вариантах с повышенными дозами азотных удобрений (N280), вследствие высокой продуктивности культур севооборота, интенсивность баланса азота находилась на уровне вариантов, где доза азотных удобрений в сумме за ротацию составляла N160-240.

5. За 48 лет на контроле без применения удобрений по сравнению с исходными данными содержание органического углерода снизилось на 13,6%. Применение минимальной системы удобрений на вар. 6 частично компенсировали его потери (снижение к исходным данным на 9,6%). С увеличением доз минеральных удобрений до средних (вар. 7, 8, 9) и повышенных (вар. 11а) дефицит органического вещества возрастал.

На всех вариантах опыта также отмечалось не только снижение содержания органического углерода, но и доли в нем гуминовых кислот.

Запасы гумуса на старопахотном участке длительного опыта в слое 0-40 см оказались на 38 т/га ниже, чем на некосимой залежи. Основные различия в запасах гумуса наблюдались в слое 0-20 см.



5. Несмотря на снижение гумусированности чернозема южного, содержание валового азота на вар. 1, 6, 7 превышало исходные данные. Содержание валового фосфора на контроле за 8 ротаций зернопарового севооборота не изменились, в то время на вариантах 7 и 8 его запасы в слое 0-20 см увеличились к исходному контролю на 115 кг/га, а на вариантах 6 и 9 – на 276 кг/га. Внесение фосфорных удобрений не только повышало продуктивность культур севооборота, но и создавало дополнительные запасы этого элемента в почве.

6. Как на контроле, так и на удобренных вариантах отмечалось снижение суммы обменно-поглощенных оснований. Произошло это в большей степени за счет потери катионов магния, в то время как содержание поглощенного кальция снизилось незначительно. За весь период исследований содержание поглощенного натрия не изменилось. Показатели актуальной кислотности чернозема южного на всех вариантах опыта как в слое 0-20, так и 20-40 см остались на прежнем уровне, а гидролитическая кислотность хоть и выросла по сравнению с исходными данными, но все же остается очень низкой.

7. За период проведения исследований азотный фонд чернозема южного значительно изменился. Увеличение продуктивности культур севооборота на варианте 11а с повышенными дозами удобрений сопровождалось снижением содержания валового азота за счет его легкогидролизуемой и трудногидролизуемой фракций. На варианте 8 с применением средних доз удобрений потери валового азота происходили в основном за счет легкогидролизуемой фракции, при этом применение как средних, так и повышенных доз удобрений увеличивало содержание нитратно-аммиачных форм азота.

8. По окончании 8 ротаций зернопарового севооборота сумма минеральных фосфатов по сравнению с исходными данными практически не изменилась. При этом содержание рыхлосвязанных фосфатов первой группы как на контроле, так и на удобренных вариантах значительно снизилось. Применение повышенных норм удобрений способствовало увеличению суммы минеральных фосфатов лишь за счет его труднодоступных форм.

**Список использованных источников**

1. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта. 5-е изд., доп. и перераб. – М.: Агропроиздат, 1985. – 351 с.
2. 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 в Поволжье / Сайфуллина Л.Б., Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. // Плодородие. – 2016. - №4. – С. 19-23.
3. Чуб М.П., Пронько В.В., Сайфуллина Л.Б., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф. Влияние длительного применения минеральных удобрений на продуктивность зернопарового севооборота и плодородие чернозема южного в засушливой степи Поволжья / М.П. Чуб // Агрехимия, 2010, №7, с. 3-13.
4. Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Влияние минеральных удобрений на продуктивность овса (*Avena sativa* L.) в условиях длительного стационарного опыта на южном черноземе Поволжья / Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. // Проблемы агрохимии и экологии. – 2016. - №1. – С. 3-9.
5. Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю., Никонорова Н.И. Продуктивность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при систематическом удобрении в условиях длительного стационарного опыта в Поволжье // Проблемы агрохимии и экологии. – 2014. - №4. – С. 3-8.
6. Чуб М.П., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Оптимизация систем удобрений при их длительном применении в зернопаровом севообороте засушливого Поволжья // Аграрный вестник Юго-Востока. -2013. - № 1-2 (8-9) - С. 72 – 75.
7. Шабаетв А.И., Калмыков С.И., Лебедев В.Б., Болкунов А.С. Экологизация, ресурсосбережение и фитосанитарная оптимизация агроценозов в адаптивно-ландшафтном земледелии Поволжья. Саратов: «Саратовский ГАУ», 2009. – 328 с.

8. Шагаев В.Я., Михайлина М.В. Плодородие почвы, урожай и баланс питательных веществ с разной насыщенностью севооборота удобрениями / В.Я.Шагаев // Агрохимия, 1977, № 2, с. 30-36.

9. Эффективность длительного применения удобрений в агроценозах степной зоны Саратовского Поволжья в условиях аридного климата: под общ. ред. В.Г. Сычева / Бюлл. ВНИИА, вып. 15. –М.: 2014. – 56 с.