

СОДЕРЖАНИЕ ДОСТУПНЫХ РАСТЕНИЯМ АЗОТА И ФОСФОРА В ПОЧВЕ ПОД ЗЕРНОВЫМИ КУЛЬТУРАМИ В СТЕПИ ПОВОЛЖЬЯ

*В.В. Пронько¹, д.с.-х.н., Д.Ю. Журавлев², к.с.-х.н.,**Т.М. Ярошенко², к.с.-х.н., Н.Ф. Климова², к.с.-х.н.**¹Научно производственное объединение «Сила жизни»,**410005, Саратов, ул. Бол. Садовая, д. 239, E-mail: viktor-pronko@mail.ru**²ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», 410010, Саратов, ул. Тулайкова, 7,**E-mail: viktor-pronko@mail.ru*

В длительном стационарном агрохимическом опыте изучают влияние азотных, фосфорных и азотно-фосфорных удобрений на пищевой режим чернозема южного. За полувековой период наблюдений выявлены особенности формирования запасов нитратного азота, обменного аммония и подвижных форм фосфора (по Мачигину) в слое 0-40 см во влагообеспеченные, среднезасушливые и острозасушливые годы. Показано влияние минеральных удобрений на прибавки урожая зерна озимой и яровой пшеницы, проса, ярового ячменя и овса в различные по влагообеспеченности годы в засушливой степи Поволжья.

Ключевые слова: стационарный опыт, чернозем южный, нитратный азот, обменный аммоний, доступный фосфор, озимая пшеница, яровая пшеница, просо, ячмень, овес.

Для цитирования: Пронько В.В., Журавлев Д.Ю., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф. Содержание доступных растениям азота и фосфора в почве под зерновыми культурами в длительном стационарном опыте в степи Поволжья// Плодородие. – 2024. – №1. – С. 5-9. DOI: 10.25680/S19948603.2024.136.01.

В 1969-1971 г. (с повторением во времени) на южном черноземе Правобережья Саратовской области был заложен стационарный опыт по изучению различных систем удобрения. В Реестре Геосети ВНИИА он зарегистрирован как длительный полевой стационарный опыт с названием «Разработка зональных систем удобрения в интенсивных технологиях возделывания зерновых культур».

За время функционирования опыта (1969-2020 г.) результаты отдельных направлений исследований широко публиковались в научной литературе. Показано влияние длительного систематического применения удобрений на агрохимические и физико-химические свойства чернозема южного [1, 10, 16]. Изучена трансформация соединений углерода и азота [5, 15], а также почвенных фосфатов [14] на разнородных фонах. Опубликованы данные по изменению продуктивности зернопарового севооборота от первой до восьмой ротации [10], выносу элементов питания из почвы [3], балансу питательных веществ [13]. Большое внимание в исследованиях уделялось вопросу окупаемости 1 кг д.в. удобрений урожаем зерна [12]. Опубликованы также сведения об отзывчивости отдельных культур зернопарового севооборота на минеральные удобрения: озимой пшеницы по чистому пару [6], яровой пшеницы [11], проса [9], ячменя [8] и овса [2].

Что касается наблюдений за пищевым режимом в почве под культурами севооборота, то отдельные результаты, носящие фрагментарный характер, ранее тоже публиковались в перечисленных выше работах. Обобщение и анализ полученных в стационарном опыте сведений не проводили.

Цель нашей работы – обобщить и дать анализ динамики соединений минерального азота и подвижных фосфатов в черноземе южном под влиянием длительного применения минеральных удобрений и определить отзывчивость зерновых культур на удобрения при различных условиях увлажнения вегетационного периода.

Методика. В настоящее время на стационарном опыте завершается девятая ротация шестипольного зернопарового севооборота. Принятое в нем чередование культур: 1 - пар чистый; 2 - озимая пшеница, 3 - яровая пшеница; 4 – просо; 5 – ячмень; 6 - овес.

В основу статьи положены результаты исследований за восемь ротаций. В зависимости от условий вегетационного периода по величине гидротермического коэффициента (ГТК по Селянинову Г.Т.) они объединены в три группы: увлажненные годы (ГТК > 1,0), среднезасушливые (ГТК 0,4-1,0) и острозасушливые (ГТК < 0,4). За более полувековой период количество лет в этих группах составляло, соответственно, 8, 40 и 4 года.

В настоящей работе анализируются результаты по вариантам, где вносили минеральные удобрения в различных дозах: минимальная, средняя, повышенная и высокая. Такое деление является условным и базируется на величине среднегодовых прибавок урожая, полученных в опыте за ротацию севооборота. Минеральные удобрения вносили под отвальную вспашку на глубину 22-25 см, а на озимой пшенице азот давали только в позднелетнюю подкормку растений.

Для агрохимической характеристики почвенного покрова по завершении каждой ротации определяли содержание общего азота и его фракций по Шконде – Королевой. Изучали также запасы общего фосфора и фракционный состав минеральных фосфатов по Чангу – Джексону.

Образцы почвы для изучения пищевого режима отбирали послойно на глубину 40 см. На озимой пшенице отбор осуществляли во время весеннего возобновления вегетации, на яровых культурах – в фазе кущения. Содержание нитратного азота определяли с ионоселективным электродом, обменный аммоний – с реактивом Несслера, доступный фосфор – по Мачигину в 1% -ной углеаммонийной вытяжке [7].

Закладку и проведение стационарного опыта осуществляли в соответствии с общепринятыми методами [4]. Убирали урожай малогабаритным комбайном «Сампо 500» или «Сампо 130».

Почва опытного участка – чернозем южный тяжело-суглинистый среднемошный. При закладке стационарного опыта в 1969-1971 г. он имел следующие агрохимические показатели: содержание гумуса в слое 0-40 см – 4,35%, валовых соединений азота, фосфора и калия, соответственно, 0,235; 0,119 и 1,60%.

Результаты и их обсуждение. За время проведения опыта в черноземе южном происходили определенные изменения как в содержании азота, фосфора, так и их отдельных фракций (табл. 1).

1. Трансформация запасов азота и фосфора в слое почвы 0-40 см стационарного опыта, мг/кг

Ротация севооборота	Азот по Шконде-Королевой				Фосфор по Чангу-Джексону				
	N _{общ.}	Лг	Тг	Нг	P _{общ.}	минеральный Р			
						I	II	III	IV
Перед закладкой (1971 г.)	2280	189,4	240,0	1817,9	1340	2,3	2,3	1,2	41,9
1	Контроль								
	2336	158,2	180,4	1991,0	1290	2,1	2,3	2,6	36,4
	N ₅₄ P ₁₇ K ₇								
	2312	180,1	217,8	1901,0	1410	2,9	3,7	3,7	47,8
5	Контроль								
	2159	172,0	344,0	1634,0	1360	1,2	Сл.	8,7	40,0
	N ₅₄ P ₁₇ K ₇								
	2080	144,9	248,4	1676,7	1390	0,5	4,0	3,1	34,6
6	Контроль								
	2079	176,8	189,6	1707,0	1180	0,3	3,8	2,9	36,3
	N ₅₄ P ₁₇ K ₇								
	2225	159,6	239,7	1813,6	1280	0,5	2,6	6,3	42,1
7	Контроль								
	2067	136,8	286,6	1633,6	1130	0,2	2,9	1,8	34,7
	N ₅₄ P ₁₇ K ₇								
	2064	111,9	204,3	1733,8	1280	0,5	5,9	1,7	33,4
8	Контроль								
	2160	70,2	123,1	1950,0	1200	0,7	2,1	0,6	34,2
	N ₅₄ P ₁₇ K ₇								
	2170	112,0	81,2	1957,0	1280	0,3	4,1	Сл.	48,4
Среднее за 8 ротаций	Контроль								
	2160	142,8	224,7	1783,1	1232	0,9	2,2	3,3	36,3
	N ₅₄ P ₁₇ K ₇								
	2170	141,7	198,3	1816,4	1328	0,9	4,1	3,0	41,2

Примечания. 1. Фракции азота: легкогидролизующий (Лг), трудногидролизующий (Тг), негидролизующий (Нг). 2. Фракции минеральных фосфатов: I - рыхлосвязанные (1 н. р-р NH₄Cl), II - алюмофосфаты (0,5 н. р-р NH₄F); III-железосоединения (0,1 н. р-р NaOH); IV-кальцийфосфаты (0,5 н. р-р H₂SO₄).

От момента закладки стационарного опыта в 1971 г. до завершения восьмой ротации шестипольного зернопарового севооборота (2019 г.) в неудобренной почве контрольного варианта количество общего азота уменьшилось всего на 5%, или 120 мг/кг. Гораздо более значимые изменения произошли в его фракционном составе. Легкогидролизующего (Лг) азота за прошедшие 48 лет стало на 24%, или 46 мг/кг меньше, а труднорастворимого (Тг) снизилось на 51%, или 116,9 мг/кг. Что касается негидролизующей (Нг) фракции, то разница между исходным и конечным количеством этой группы азотистых соединений в неудобренной почве составила 7%, или 132,1 мг/кг.

В варианте с ежегодным внесением на 1 га севооборотной площади N₅₄P₁₇K₇ запасы общего азота в черноземе южном за рассматриваемый период изменились незначительно: на 4,8%, или 110 мг/кг. По отдельным

фракциям легкогидролизующего азота стало меньше на 41% (77,4 мг/кг), трудногидролизующего – на 66% (158,8 мг/кг).

Систематическое применение минеральных удобрений положительно отразилось на запасах негидролизующей части азота, в слое почвы 0-40 см его стало больше на 8%, или 139,1 мг/кг.

Таким образом, результаты наблюдений показали, что валовые запасы азота и его отдельные фракции находятся в определенном динамичном состоянии и на протяжении длительного периода подвержены варьированию. В то же время соотношение между фракциями азота в черноземе южном остается стабильным. За прошедшие 48 лет, независимо от степени удобренности, на долю легкогидролизующего азота приходится 6,7-6,5%, трудногидролизующего -10,6-9,1, негидролизующего 82,6-83,7% его общего количества в почве.

Содержание валового фосфора в конце второй ротации зернопарового севооборота в неудобренной почве снизилось на 10,4% (140 мг/кг) по сравнению с исходным уровнем. Произошли определенные изменения и в групповом составе минеральных фосфатов. Количество рыхлосвязанных фосфатов (I фракция) уменьшилось в 3 раза, железосоединений – в 2 раза, кальцийфосфатов (IV фракция) – в 1,2 раза. В варианте со среднегодовой дозой минеральных удобрений N₅₄P₁₇K₇ убыль валового фосфора за рассматриваемый период составила 4,5% (60 мг/кг), или в 2,3 раза ниже, чем в почве контрольного варианта. Резко сократилось (в 7,7 раза) в постоянно удобренной почве содержание рыхлосвязанных фосфатов. Зато в 1,8 раза больше (по сравнению с исходными данными) стало алюмофосфатов, и в 1,2 раза увеличилась фракция кальцийфосфатов (IV фракция).

Отмеченные выше трансформации в почве валовых запасов азота и фосфора, безусловно, оказали влияние на количество доступных для растений соединений азота и фосфора в почве. Вместе с тем, результаты наблюдений показали, что содержание элементов питания в значительной степени зависит также от гидротермических условий вегетационного периода (табл. 2).

Под озимой пшеницей, возделываемой по чистому пару, в неудобренной почве контрольного варианта во влагообеспеченные годы процессы нитрификации преобладали над аммонификацией. В острозасушливые годы наблюдалась обратная картина: обменного аммония в слое почвы 0-40 см было в 2,3 раза больше, чем нитратного азота.

Внесение азотной подкормки N₃₀ во влажные годы повысило содержание нитратного азота и не оказало существенного влияния на запасы обменного аммония. В острозасушливые годы, наоборот, после внесения азотных удобрений содержание аммонийного азота превысило количество нитратного в 2,7 раза. Полагаем это является следствием резкого снижения нитрификационной активности чернозема южного в условиях острого дефицита почвенной влаги.

Определение количества фосфатов, доступных для растений, показало, что в неудобренной почве их содержание под озимой пшеницей было достаточно стабильным (от 14,9 до 17,6 мг/кг) независимо от условий влагообеспеченности. Систематическое внесение фосфорных удобрений во всех вариантах опыта позволило существенно увеличить запасы фосфатов, извлекаемых 1%-ной углеаммонийной вытяжкой.

2. Содержание доступных для растений соединений азота и фосфора в слое 0-40 см чернозема южного, мг/кг

Удобрения	Влагообеспеченные годы			Среднезасушливые годы			Острозасушливые годы		
	N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅	N-NO ₃	N-NH ₄	P ₂ O ₅
<i>Озимая пшеница</i>									
Контроль (б/у)	7,4	6,6	14,9	6,6	7,9	15,4	3,7	8,6	17,6
N ₃₀	9,2	5,3	15,7	10,5	6,8	17,6	8,7	23,6	29,5
P ₄₀	8,2	14,4	26,9	7,4	3,2	28,3	3,5	9,5	31,4
N ₃₀ P ₄₀	10,2	15,5	24,0	11,3	8,1	26,5	10,0	27,9	26,8
N ₆₀ P ₄₀	12,0	20,9	19,5	16,3	12,6	22,1	12,8	39,9	24,9
<i>Яровая пшеница</i>									
Контроль (б/у)	10,2	3,1	14,7	6,4	5,8	14,5	5,4	4,2	18,6
N ₄₀	11,5	2,7	17,8	11,9	8,0	17,1	6,2	5,4	23,7
N ₄₀ P ₄₀	11,6	3,3	24,8	13,2	8,8	24,5	7,1	6,5	37,6
N ₆₀ P ₄₀	14,5	4,1	30,6	15,6	9,6	23,7	6,1	7,2	31,5
N ₈₀ P ₄₀	20,2	4,2	25,0	13,8	6,3	19,8	11,3	10,5	25,4
<i>Просо</i>									
Контроль (б/у)	13,8	5,2	15,4	11,1	5,2	13,9	10,2	5,9	14,7
N ₄₀	14,6	7,3	18,3	15,4	8,3	17,2	15,1	7,5	22,3
P ₄₀	26,0	5,4	26,1	12,0	11,0	29,6	13,7	7,6	31,9
N ₄₀ P ₄₀	19,2	9,0	22,7	19,3	9,3	28,1	16,3	6,7	32,4
N ₆₀ P ₄₀	28,8	7,4	26,0	19,2	8,4	29,6	20,8	7,4	25,7
<i>Ячмень</i>									
Контроль (б/у)	8,0	7,2	14,9	7,9	5,7	15,9	8,6	6,6	14,8
N ₄₀	11,4	Сл.	22,4	10,4	6,4	23,4	9,9	0,4	29,0
N ₆₀	12,1	5,9	14,9	10,2	5,7	22,3	19,7	9,0	25,0
N ₄₀ P ₄₀	8,0	5,7	24,4	6,5	3,8	25,0	9,5	3,9	36,0
N ₆₀ P ₄₀	9,2	8,1	24,5	7,9	5,3	28,7	Не опр.	4,7	Не опр.
<i>Овес</i>									
Контроль (б/у)	5,9	6,0	12,9	8,0	4,1	16,7	11,7	2,9	16,1
N ₄₀	13,4	7,0	21,6	8,5	8,5	22,7	15,4	4,3	23,0
N ₆₀	14,8	6,8	17,4	10,9	7,4	21,0	17,6	2,8	21,4
N ₄₀ P ₄₀	9,6	6,5	23,8	7,7	6,1	31,7	Не опр.	7,8	Не опр.
N ₆₀ P ₄₀	14,1	10,4	34,2	6,8	6,6	27,4	Не опр.	6,1	Не опр.

За годы проведения исследований урожайность озимой пшеницы на неудобренном контроле колебалась от 1,59 до 5,29 т/га. В группе влагообеспеченных лет ее средняя урожайность составила 3,10 т/га, а в острозасушливые – 1,05 т/га, или в 3 раза ниже (табл. 3).

В условиях достаточного увлажнения хорошо проявили себя фосфорные удобрения (прибавка 0,37 т/га). Внесение азотной подкормки N₃₀ при оптимальных запасах нитратного азота (44 кг/га) дало прибавку урожая 0,26 т/га. Преимущество фосфорных удобрений перед азотными проявилось и в группе острозасушливых лет.

Следует также отметить на озимой пшенице преимущество варианта N₃₀P₄₀, поскольку увеличение дозы азота до N₆₀ не дало положительного результата.

На яровой пшенице азотный режим в слое 0-40 см складывался неоднозначно. Так, в почве контрольного варианта нитратного азота больше всего во влагообеспеченные годы – в 1,6-1,9 раза больше, чем в среднезасушливые и острозасушливые годы. Содержание обменного аммония, наоборот, повышалось с усилением засушливости вегетационного периода (см. табл. 2). Минеральные азотные и азотно-фосфорные удобрения увеличивали запасы как нитратного, так и аммонийного азота.

При этом сохранялась та же тенденция, что и в неудобренной почве: во влагообеспеченные годы было больше нитратного азота, а в сухие и острозасушливые – обменного аммония.

3. Влияние минеральных удобрений и погодных условий на урожайность зерновых культур

Удобрения	Влагообеспеченные годы			Среднезасушливые годы			Острозасушливые годы		
	т/га	прибавка т	%	т/га	прибавка т	%	т/га	прибавка т	%
<i>Озимая пшеница</i>									
Контроль (б/у)	3,10	-	-	3,06	-	-	1,05	-	-
N ₃₀	3,36	0,26	8,4	3,25	0,19	6,2	1,04	-0,1	-0,9
P ₄₀	3,47	0,37	10,6	3,25	0,19	6,2	1,36	0,31	0,32
N ₃₀ P ₄₀	3,70	0,60	19,3	3,61	0,55	17,9	1,38	0,33	31,4
N ₆₀ P ₄₀	3,63	0,53	17,1	3,59	0,53	17,3	1,13	0,07	6,6
НСР ₀₅	0,30	-	-	0,43	-	-	0,32	-	-
<i>Яровая пшеница</i>									
Контроль (б/у)	2,73	-	-	1,42	-	-	0,6	-	-
N ₄₀	3,29	0,56	20,5	1,70	0,28	19,7	0,64	0,04	6,7
N ₄₀ P ₄₀	3,21	0,48	17,6	1,75	0,33	23,2	0,68	0,08	13,3
N ₆₀ P ₄₀	3,55	0,82	30,0	1,73	0,31	21,8	0,71	0,11	18,3
N ₈₀ P ₄₀	3,45	0,72	26,4	1,79	0,37	26,0	0,74	0,14	23,3
НСР ₀₅	0,31	-	-	0,23	-	-	F _{теор} ≥ F _{прак}	-	-
<i>Просо</i>									
Контроль (б/у)	2,67	-	-	1,25	-	-	0,42	-	-
N ₄₀	3,28	0,61	22,8	1,67	0,42	33,6	0,53	0,11	26,2
P ₄₀	3,05	0,38	14,2	1,52	0,27	21,6	0,48	0,06	14,3
N ₄₀ P ₄₀	3,47	0,80	30,0	1,77	0,52	41,6	0,51	0,09	21,4
N ₆₀ P ₄₀	3,47	0,80	30,0	1,85	0,60	48,0	0,49	0,07	16,6
НСР ₀₅	0,47	-	-	0,40	-	-	0,20	-	-
<i>Ячмень</i>									
Контроль (б/у)	2,67	-	-	1,43	-	-	0,72	-	-
N ₄₀	4,19	1,52	56,9	2,12	0,69	48,2	1,25	0,53	73,6
N ₆₀	4,19	1,52	56,9	2,30	0,87	60,8	1,21	0,49	68,0
N ₄₀ P ₄₀	4,83	2,16	80,9	1,95	0,52	36,3	1,53	0,81	112,5
N ₆₀ P ₄₀	4,64	1,97	73,8	2,21	0,78	54,5	1,08	0,36	50,0
НСР ₀₅	0,49	-	-	0,44	-	-	0,37	-	-
<i>Овес</i>									
Контроль (б/у)	2,20	-	-	1,65	-	-	1,12	-	-
N ₄₀	3,25	1,05	47,7	1,98	0,33	20,0	1,40	0,28	25,0
N ₆₀	3,26	1,06	48,2	2,05	0,40	24,2	1,40	0,28	25,0
N ₄₀ P ₄₀	2,78	0,58	26,3	1,85	0,20	12,1	1,41	0,29	25,9
N ₆₀ P ₄₀	3,27	1,07	48,6	1,65	0	0	1,12	0	0
НСР ₀₅	0,36	-	-	0,27	-	-	0,26	-	-

Содержание доступного фосфора в контрольном варианте варьировало с учетом влагообеспеченности в пределах 14,7-18,6 мг/кг. По шкале Мачигина для зерновых культур это соответствует низкой и средней обеспеченности. Систематическое внесение фосфора в составе минеральных удобрений привело к тому, что запасы его доступных форм на удобренных делянках увеличились на 32-49 кг/га.

При таком уровне обеспеченности чернозема южного доступными соединениями азота и фосфора яровая пшеница дала достаточно высокие прибавки урожая зерна во влагообеспеченные годы. По вариантам опытов они колебались от 0,48 до 0,82 т/га (см. табл. 3). Следует также отметить, что в таблице приведены усредненные результаты за восемь ротаций. В отдельные благоприятные для

этой культуры годы прибавки урожая достигали 1,01 т/га (1978 г.) и 1,11 т/га (1985 г.).

В группе среднезасушливых лет (ГТК 0,4-0,8) средняя урожайность яровой пшеницы на неудобренном контроле оказалась ниже уровня влагообеспеченных лет в 1,9 раза. При этом по отдельным годам исследований она колебалась от 0,76 до 2,31 т/га. По нашим наблюдениям в этой группе лет урожайность на контроле и эффективность удобрений зависели не от количества выпавших осадков, а главным образом от их распределения на протяжении вегетационного периода. Удобрения были высокоэффективны в годы, когда значительная часть осадков выпадала в период начала образования вторичных корней (2-3-я декады мая). Ввиду высокого разброса массива данных по урожайности при расчетах наименьшей существенной разницы $F_{\text{теор.}}$ оказался выше $F_{\text{прак.}}$ и доказать статистическую достоверность полученных прибавок урожая зерна не представилось возможным. То же самое наблюдалось и в группе острозасушливых лет.

Просо, как известно, относится к группе культур позднего посева и предпосевную обработку для нее проводят по типу полупара. Рыхление верхнего слоя почвы и оптимальные гидротермические условия в это время активизируют нитрификационные процессы. Как видно из таблицы 2, во всех группах лет, независимо от степени удобренности почвы, нитратного азота накапливалось значительно больше, чем аммонийного. Так, в слое 0-40 см неудобренной почвы во влагообеспеченные годы его содержалось 66 кг/га, в среднезасушливые – 53, а в острозасушливые – 49 кг/га. При внесении в почву $N_{60}P_{40}$ в фазе кущения проса запасы нитратного азота составляли, соответственно, 137; 91 и 99 кг/га.

Почва контрольного варианта под просом имела низкую обеспеченность фосфором, извлекаемым 1%-ной углеаммонийной вытяжкой, как во влагообеспеченные, так и в засушливые годы. При систематическом внесении фосфорных и азотно-фосфорных минеральных удобрений запасы доступных фосфатов в слое почвы 0-40 см практически удвоились. При этом заметно повышалось содержание фосфора в почве и при внесении одного азотного удобрения. Аналогичное повышение доступных фосфатов при внесении азотного удобрения отмечалось и под другими культурами зернопарового севооборота (см. табл. 2). Объясняется это общепризнанным фактом увеличения растворимости почвенных фосфатов солями азотной кислоты.

На размер прибавок урожая проса от минеральных удобрений большое влияние оказывали гидротермические условия вегетационного периода (см. табл. 3). В группе влагообеспеченных лет от азотного удобрения N_{40} прибавка урожая была в 1,6 раза выше, чем при использовании P_{40} . Наиболее результативным в условиях оптимальной влагообеспеченности оказалось внесение $N_{40}P_{40}$. Увеличение дозы азота до 60 кг д.в./га. дало такой же результат, но при этом снизилась окупаемость урожая зерна 1 кг д.в. удобрений. Аналогичная картина отмечена и в группе среднезасушливых лет.

В острозасушливые годы прирост урожая зерна от удобрений колебался от 0,06 до 0,11 т/га. Статистически достоверные прибавки урожая в этой группе лет получены только в 2002 г.

При возделывании ярового ячменя в слое 0-40 см чернозема южного содержание нитратного азота в контрольном варианте было выше, чем обменного аммония

независимо от погодных условий вегетационного периода. Азотное удобрение N_{40} и N_{60} оказало положительное влияние на нитрификационные процессы. Но их интенсивность определялась погодными условиями. Как видно из таблицы 2, во влагообеспеченные годы содержание нитратного азота на удобренных вариантах превышало контроль в 1,5 раза, в группе среднезасушливых лет – в 1,3, а в острозасушливые – в 1,2 раза.

Следует отметить, что повышение доз азота с 40 до 60 кг д.в./га, а также добавление к азотному удобрению фосфорного за годы исследований не приводило к изменению азотного режима чернозема южного в начале роста и развития ярового ячменя.

Среднее содержание доступного фосфора в слое 0-40 см неудобренной почвы было достаточно стабильным – от 70 до 76 кг/га. При этом по годам исследований оно варьировало в достаточно широких пределах – от 49 (1992 г.) до 108 (1986 г.) кг/га. Регулярное внесение P_{40} в составе удобрений позволило увеличить фосфатный фонд почвы по сравнению с контролем во влагообеспеченные годы в 1,6 раза, в среднезасушливые – в 1,8, в острозасушливые – в 2,4 раза.

Условия увлажнения оказали большое влияние на продуктивность ярового ячменя (см. табл. 3). В контрольном варианте урожайность зерна в среднезасушливые годы составила 54%, а в острозасушливые – 27% от уровня влагообеспеченных лет. Эффективность удобрений зависела от условий увлажнения. Самая высокая прибавка урожая (80,9% к контролю) на этой культуре получена от внесения $N_{40}P_{40}$ при оптимальном увлажнении вегетационного периода. В среднезасушливые годы максимальная урожайность отмечена в варианте N_{60} , а в группе острозасушливых лет – после внесения $N_{40}P_{40}$. Следует отметить, что в условиях засухи достаточно высокую эффективность показало азотное удобрение. Средняя прибавка от N_{40} в этой группе лет составила 0,53 т/га. Необходимо также обратить внимание на немаловажное обстоятельство: увеличение дозы азота с 40 до 60 кг/га в составе азотно-фосфорных удобрений не способствовало существенному росту урожайности ярового ячменя.

В фазе кущения овса содержание нитратного азота в слое 0-40 см неудобренной почвы было низким. Для группы влагообеспеченных лет оно составляло 28 кг/га, для средне- и острозасушливых, соответственно, 38 и 56 кг/га. Повышение количества нитратного азота в условиях засухи можно объяснить тем, что в начальный период роста овса запасы влаги в почве были еще достаточными, а интенсивное нарастание температур в этих условиях активизировало деятельность нитрификаторов.

После внесения N_{40} и N_{60} содержание нитратного азота (по сравнению с неудобренной почвой) повышалось и составило в среднем за период исследований во влажные, среднезасушливые и острозасушливые годы, соответственно, 70, 52 и 84 кг/га.

Содержание доступного фосфора в почве контрольного варианта было стабильно низким (по Мачигину) независимо от складывающихся погодных условий. Его запасы составляли 61-79 кг/га. В вариантах, где вносили азотное удобрение (N_{40-60}) содержание доступных фосфатов увеличивалось. Во влагообеспеченные годы в среднем их было 83-103 кг/га, в среднезасушливые – 100-108 и в острозасушливые годы – 95-105 кг/га. Но максимальные значения запасов доступного для растений фосфора достигнуты при систематическом применении азотно – фосфорных удобрений (см. табл. 2).

Учет урожая зерна овса показал, что его величина в значительной степени зависит от гидротермических условий. В средnezасушливые годы в контрольном варианте средний урожай зерна составил 75% от показателя влагообеспеченных лет, а в остроzасушливые – 51% (см. табл. 3).

Установлено, что во все годы исследований лучшие результаты показало внесение N_{40} . В группе влагообеспеченных лет в этом варианте удалось получить 3,25 т/га зерна овса. Повышение дозы азота до N_{60} , а также дополнение азота фосфорными удобрениями не привело к росту урожайности овса. В группе средnezасушливых лет наиболее результативным также было внесение N_{40} . Но прибавка урожая составила только 32% от аналогичного показателя влажных лет. В остроzасушливые годы лучший результат также показал вариант N_{40} . Но ввиду резкого дефицита влаги дополнительный прирост урожая зерна в этой группе лет не превысил 0,28 т/га. Добавление к азотному удобрению фосфорного в остроzасушливых условиях не дало положительного результата.

Заключение. За восемь ротаций зернопарового севооборота отмечена тенденция к снижению запасов валового азота в слое 0-40 см чернозема южного. Минеральные удобрения этот процесс замедляли. В составе минерального азота удобренной почвы фракции легкогидролизуемых и трудногидролизуемых соединений уменьшились, а негидролизуемых – повысились. В составе минеральных фосфатов за 48 лет наблюдений произошло снижение рыхлосвязанных фосфатов (I фракция) и железозосфатов (III фракция). Внесение в составе минеральных удобрений дозы P_{17} на 1 га севооборотной площади увеличило долю алюмофосфатов (II фракция) и кальцийфосфатов (IV фракция). Под всеми культурами севооборота в составе минерального азота в подавляющем большинстве случаев нитратная форма преобладала над обменным аммонием. Последнего накапливалось больше только под озимой пшеницей, возделываемой в остроzасушливые годы. Содержание доступного фосфора в неудобренной почве по культурам севооборота было практически на одном уровне. Систематическое внесение удобрений (в т.ч. одного азотного) практически удвоило его запасы в слое 0-40 см. Среди культур севооборота самые высокие прибавки урожая зерна от удобрений получены при возделывании ярового ячменя и овса, минимальные – на озимой пшенице, идущей по чистому пару.

Литература

1. Влияние 30-летнего применения минеральных удобрений на плодородие южного чернозема засушливого Поволжья / М.П. Чуб, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Сб. науч. тр. ВНИИА им. Д.Н. Прянишникова. Вып. 2. - М., 2012. - С. 296-313.

2. Влияние минеральных удобрений на продуктивность овса в условиях длительного стационарного опыта на южном черноземе Поволжья / М.П. Чуб, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Проблемы агрохимии и экологии. - 2016. - № 1. - С. 3-9.
3. Влияние минеральных удобрений и погодных условий на вынос элементов питания зерновыми культурами в степи Поволжья / В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Плодородие. - 2020. - № 2. - С. 19-22.
4. Доспехов Б.А. Методика полевого опыта: 5-е изд., перераб. и доп. - М.: Агропромиздат, 1985. - 351 с.
5. Изменение содержания общего углерода и азота в черноземе южном засушливого Поволжья при длительном применении удобрений / М.П. Чуб, Л.Б. Сайфуллина, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Плодородие. - 2016. - № 4. - С. 19-23.
6. Отзывчивость озимой пшеницы на удобрения в зависимости от увлажнения южных черноземов Поволжья / Чуб М.П., В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Проблемы агрохимии и экологии. - 2014. - № 3. - С. 3-7.
7. Практикум по агрохимии / Под ред. В.Г. Минеева; 2-е изд., перераб. и доп. - М.: Изд-во МГУ, 2001. - 689 с.
8. Пищевой режим чернозема южного и продуктивность ярового ячменя в условиях длительного стационарного опыта / М.П. Чуб, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Проблемы агрохимии и экологии. - 2015. - № 4. - С. 20-26.
9. Пищевой режим чернозема южного и продуктивность проса в длительном стационарном опыте с удобрениями / М.П. Чуб, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Проблемы агрохимии и экологии. - 2019. - № 1. - С. 3-9.
10. Плодородие черноземов засушливого Поволжья и продуктивность полевых культур при длительном применении минеральных удобрений / В.Г. Сычев, В.А. Романенков, М.В. Беличенко, В.Г. Лошаков, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Бюлл. Геосети ВНИИА. Вып. 26. - М.: ВНИИА, 2017. - 56 с.
11. Продуктивность яровой пшеницы при систематическом удобрении в условиях длительного стационарного опыта в Поволжье / М.П. Чуб, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Проблемы агрохимии и экологии. - 2014. - № 4. - С. 3-7.
12. Продуктивность зернопарового севооборота и окупаемость минеральных удобрений в длительном опыте на южном черноземе Поволжья / М.П. Чуб, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Фундаментальные исследования по созданию новых средств химизации и наследие акад. Д.Н. Прянишникова. - М.: ВНИИА, 2015. - С. 137-142.
13. Продуктивность севооборота и баланс питательных веществ при длительном внесении минеральных удобрений в степном Поволжье / М.П. Чуб, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Аграрный научный журнал. - 2017. - № 5. - С. 33-40.
14. Фосфатный режим чернозема южного при длительном применении минеральных удобрений в засушливом Поволжье / М.П. Чуб, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Плодородие. - 2018. - № 4. - С. 18-22.
15. Фракционный состав азота на черноземе южном в условиях длительного применения минеральных удобрений / М.П. Чуб, Л.Б. Сайфуллина, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Плодородие. - 2017. - № 5. - С. 36-40.
16. Эффективность длительного применения удобрений в агроценозах степной зоны Саратовского Поволжья в условиях аридного климата / В.Г. Сычев, В.А. Романенков, В.В. Пронько, Т.М. Ярошенко, Н.Ф. Климова, Д.Ю. Журавлев // Бюлл. Геосети ВНИИА. Вып. 15. - М.: ВНИИА, 2014. - 56 с.

THE CONTENT OF NITROGEN AND PHOSPHORUS AVAILABLE TO PLANTS UNDER GRAIN CROPS IN A LONG STATIONARY EXPERIMENT IN THE VOLGA STEPPE

V.V. Pronko¹, D.Y. Zhuravlev², T.M. Yaroshenko², N.F. Klimova², ¹Scientific Production Association "The Power of Life", 410005, Saratov, Bol. Sadovaya, 239, E-mail: viktor-pronko@mail.ru

²Federal Agrarian Scientific Center of the South-East", 410010, Saratov, Tulaykova str., 7 E-mail: viktor-pronko@mail.ru

In a long-term stationary agrochemical experiment, the influence of nitrogen, phosphorus and nitrogen-phosphorus fertilizers on the food regime of the Southern Chernozem is studied. Over a half-century period of observations, features of the formation of reserves of nitrate nitrogen, exchangeable ammonium and mobile forms of phosphorus (according to Machigin) in the 0-40 cm layer in moisture-rich, moderately dry and severely dry years were revealed. The influence of mineral fertilizers on the grain yield increases of winter wheat, spring wheat, millet, spring barley and oats in different moisture availability years in the arid steppe of the Volga region is shown.

Keywords: stationary experiment, Southern Chernozem, nitrate nitrogen, exchangeable ammonium, available phosphorus, winter wheat, spring wheat, millet, barley, oats.