

АГРОНОМИЯ

4.1.3. Агрохимия, агропочвоведение, защита и карантин растений

Научная статья

УДК 631.82:633.11«321»:631.445.41 (470.4)

doi: 10.28983/asj.y2024i7pp29-38

**Действие и последствие минеральных удобрений на яровой мягкой пшенице
в длительном опыте на черноземе южном степи Поволжья**

**Виктор Васильевич Пронько, Дмитрий Юрьевич Журавлев, Татьяна Михайловна Ярошенко,
Надежда Федоровна Климова, Валентина Александровна Куликова**

ФАНЦ Юго-Востока, г. Саратов, Россия

e-mail: viktor-pronko@mail.ru

Аннотация. В длительном стационарном опыте на южном черноземе степи Поволжья завершается девятая ротация шестипольного зернопарового севооборота. Накопленный за эти годы (1968–2023 гг.) экспериментальный материал позволил выявить особенности действия и последствия азотно-фосфорных удобрений на яровой пшенице (третье поле севооборота). Установлено, что самые высокие прибавки урожая зерна от прямого действия удобрений получали в условиях увлажненного вегетационного периода. В засушливых условиях действие удобрений снижалось. Повышение дозы азота с N60 до N80–90 было неэффективным. Доказано также, что азотные и фосфорные удобрения, вносимые под предшествующую культуру (озимая пшеница), оказывали положительное последствие на яровой пшенице. Размер прибавок также зависел от влагообеспеченности вегетационного периода. В формировании урожая зерна яровой пшеницы в засушливой черноземной степи большую роль играют гидротермические условия мая и июня.

Ключевые слова: стационарный опыт; минеральные удобрения; чернозем южный; яровая мягкая пшеница; Поволжье

Для цитирования: Пронько В. В., Журавлев Д. Ю., Ярошенко Т. М., Климова Н. Ф., Куликова В. А. Действие и последствие минеральных удобрений на яровой мягкой пшенице в длительном опыте на черноземе южном степи Поволжья // Аграрный научный журнал. 2024. № 7. С. 29–38. <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i7pp29-38>.

AGRONOMY

Original article

**The effect and aftereffect of mineral fertilizers on spring soft wheat
in a long-term experiment on the southern chernozem of the Povolzhye steppe zone**

**Viktor V. Pronko, Dmitry Yu. Zhuravlev, Tatiana M. Yaroshenko, Nadezhda F. Klimova,
Valentina A. Kulikova**

Federal Center of Agriculture Research of the South-East Region, Saratov, Russia

e-mail: viktor-pronko@mail.ru

Abstract. In a long-term stationary experiment on the Southern Chernozem of the Volga steppe, the ninth rotation of the six-field grain-pair crop rotation is being completed. The experimental material accumulated over these years (1968–2023) made it possible to identify the features of the action and aftereffect of nitrogen-phosphorus fertilizers on spring wheat (the third field of crop rotation). It was found out that the highest grain yield increases from the direct action of fertilizers were obtained in conditions of a humidified growing season. In arid conditions, the effect of fertilizers decreased. Increasing the nitrogen dose from N60 to N80-90 was ineffective. It is also proved that nitrogen and phosphorus fertilizers applied under the previous crop (winter wheat) had a positive aftereffect on spring wheat. The amount of increases also depended on the moisture availability of the growing season. The hydrothermal conditions of May and June play an important role in the formation of the grain harvest of spring wheat in the arid chernozem steppe.

Keywords: stationary experiment; mineral fertilizers; southern chernozem; spring soft wheat; Volga region

For citation: Pronko V. V., Zhuravlev D. Yu., Yaroshenko T. M., Klimova N. F., Kulikova V. A. The effect and aftereffect of mineral fertilizers on spring soft wheat in a long-term experiment on the Southern Chernozem of the Povolzhye steppe zone. *Agrarnyy nauchnyy zhurnal = Agrarian Scientific Journal*. 2024;(7):29–38. (In Russ.). <http://dx.doi.org/10.28983/asj.y2024i7pp29-38>.

©Пронько В. В., Журавлев Д. Ю., Ярошенко Т. М., Климова Н. Ф., Куликова В. А., 2024



Введение. В степных регионах Российской Федерации, в том числе и в Поволжье, яровая мягкая пшеница занимает значительный удельный вес. Поэтому она является объектом многочисленных агрохимических исследований. За предшествующие годы были выявлены оптимальные виды, дозы, сроки и способы внесения удобрений при возделывании яровой пшеницы на черноземных почвах степной зоны [7, 13]. В условиях длительных стационарных опытов получены новые, не известные ранее, сведения о влиянии гидротермических условий вегетационного периода на эффективность минеральных удобрений в посевах яровой мягкой пшеницы [10, 14]. Установлены размеры выноса и потребления элементов питания на формирование единицы урожая с соответствующим количеством побочной продукции [10]. Выявлено влияние длительного применения минеральных удобрений на качество зерна яровой мягкой пшеницы [6].

Вместе с тем анализ ранее опубликованных результатов исследований показал слабую изученность последствий минеральных удобрений. В научной литературе достаточно полно освещены вопросы последствий гипса на почвах Нечерноземной зоны [7, 8], а также труднорастворимых форм фосфорных удобрений [1, 4, 11]. Что касается степных почв (черноземы, каштановые), то здесь можно найти только единичные работы, результаты которых носят подчас противоречивый характер. Так, в опытах, выполненных на черноземах Поволжья и Ставропольского края, авторы отмечали, что систематическое внесение азотных и фосфорных удобрений создает в почве повышенные запасы питательных веществ, и они оказывают положительное влияние на урожайность последующих культур севооборота [2, 9, 12]. С другой стороны, в исследованиях, выполненных в лесостепной зоне европейской части России, азотно-фосфорные удобрения не проявляли последствий на второй и третий год после их внесения [5]. Поэтому можно констатировать, что сведения о последствиях минеральных удобрений на степных почвах имеют единичный характер, их результаты во многом противоречивы и не позволяют сформулировать определенные выводы.

Цель исследований – определить особенности действия и последствия азотных и фосфорных удобрений на урожайность яровой мягкой пшеницы в условиях длительного стационарного опыта.

Материалы и методы. Экспериментальную работу проводили в условиях длительного полевого стационарного опыта. Он был заложен доктором сельскохозяйственных наук, профессором М.П. Чуб и ее коллегами в 1969–1971 гг. на плакорно-равнинном агроландшафте в экспериментальном хозяйстве ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока» (г. Саратов). Опыт занесен под № 15 в Реестр аттестатов Геосети длительных опытов с удобрениями и другими агрохимическими средствами Российской Федерации.

Почва опытного участка – чернозем южный среднегумусный среднemocный тяжелосуглинистый среднесмытый. Содержание гумуса, по данным агрохимического обследования, проведенного перед закладкой опыта (1968 г.), в слое почвы 0–40 см составляло 4,35 %, общего азота – 0,235 %, валового фосфора – 0,119 %, валового калия – 1,60 %. Обеспеченность легкогидролизуемым азотом по Тюрину – Кононовой – 67 мг/кг, подвижным фосфором по Мачигину – 10–12 мг/кг, обменным калием – 345 мг/кг.

Климатические условия в районе проведения опыта являются типичными для засушливой степи Поволжья. Коэффициент континентальности – 180–200 (средне- и сильно континентальный). Средний гидротермический коэффициент (ГТК) вегетационного периода по Г.Т. Селянинову 0,81 [13]. По многолетним данным (1912–1980 гг.), предоставленным агрометеорологической службой ФГБНУ «ФАНЦ Юго-Востока», температура воздуха минимальная зарегистрированная 37,0 °С; среднегодовая 5,3 °С; максимальная зарегистрированная 41,0 °С. Среднегодовое количество осадков: минимальное – 245 мм, среднее – 451 мм, максимальное – 648 мм. Минимальное их количество за вегетационный период – 46,2 мм, среднее и максимальное – 135,8 и 221,5 мм соответственно.

Длительный стационарный опыт расположен на трех полях площадью по 1,5 га каждый. Это позволяет обеспечивать повторяемость эксперимента в пространстве. Расположение вариантов в опыте рендомизированное, размер делянок – 235–300 м², повторность – трехкратная. Полученные в опыте экспериментальные данные подвергали статистической обработке [3]. В первые четыре ротации в опыте применяли шестипольный зернопаропропашной севооборот, который



имел следующее чередование культур: пар чистый, озимая пшеница, яровая мягкая пшеница, кукуруза на зеленую массу, ячмень, овес. Начиная с пятой ротации, кукурузу заменили просом. Экспериментальные данные по яровой мягкой пшенице в опыте охватывают период с первой по девятую ротации шестипольного севооборота.

Полученные за период исследований данные урожайности яровой мягкой пшеницы были разделены на группы лет в соответствии с уровнем влагообеспеченности вегетационного периода. Для этого проводили расчеты гидротермического коэффициента увлажнения по Г.Т. Селянинову за май – июль. Так, в группу влагообеспеченных включили годы, где ГТК за май – июль был больше 1,0, среднезасушливых – 0,4–1,0, острозасушливых – меньше 0,4. Нами представлены данные урожайности яровой мягкой пшеницы на четырех вариантах опыта за девять ротаций шестипольного севооборота: вар. 1 (контроль, без удобрений), вар. 6 (минимальные дозы азотно-фосфорных удобрений), вар. 8 (средние дозы азотно-фосфорных удобрений) и вар. 11а (высокие дозы азотно-фосфорных удобрений). Минимальная система удобрений (вар. 6) в опыте подразумевала однократное внесение P40 и N30–40 1–2 раза за ротацию шестипольного севооборота. В нашем случае непосредственно под яровую пшеницу на вар. 6 удобрения не вносили. Однако под основную обработку чистого пара на данном варианте вносили фосфорные удобрения в дозе P40. Для позднеосенней подкормки озимой пшеницы применяли аммиачную селитру в дозе N30. Это позволило учесть возможное последствие азотно-фосфорных удобрений. Средние дозы азотно-фосфорных удобрений (вар. 8) предусматривали систематическое применение под яровую пшеницу N40–60. Фосфорные удобрения в дозе P40–50 вносили под яровую пшеницу во вторую, третью и пятую ротации севооборота. На варианте 11а ежегодно применяли более высокие дозы азотных удобрений (N60–90), а фосфорные (P40) вносили в седьмой и восьмой ротациях. Во всех случаях фосфорные удобрения применяли с осени под основную обработку. Азотные удобрения применяли в виде позднеосенней подкормки озимой пшеницы, а также основного удобрения на других культурах.

Некоторые полученные ранее результаты исследований, касающиеся эффективности минеральных удобрений в условиях длительного стационарного опыта, ранее публиковались в научной литературе [10, 13, 14].

Результаты исследований. Изучение прямого действия удобрений, вносимых под яровую пшеницу, показало следующее. В первой ротации севооборота яровая мягкая пшеница возделывалась в годы, сильно различающиеся по уровню влагообеспеченности. Так, средне- и острозасушливые годы по уровню ГТК за май – июль 1971 и 1972 гг. сменились влагообеспеченным 1973 г. Урожайность зерна по вариантам опыта в 1973 г. более чем в два раза превосходила значения среднезасушливого 1971 г. и многократно превышала результаты острозасушливого 1972 г. (таблица 1). Максимальная прибавка урожая в этой ротации была получена на вар. 11а, где под яровую пшеницу вносили азотные удобрения (N60). Существенный рост урожайности зерна на этом варианте отмечали как во влажный, так и среднезасушливый годы. На вар. 8 в первой ротации под яровую пшеницу удобрения не применяли, а отмеченный рост урожайности обеспечили ранее внесенные на этом варианте фосфорные удобрения в чистом пару.

Во второй ротации самую высокую урожайность яровая пшеница продемонстрировала во влагообеспеченном 1978 г. Применение N60 на вар. 11а дало максимальную прибавку урожая зерна к контролю. В то же время среднезасушливый по гидротермическим условиям 1977 г. практически уравнивал по эффективности средние и высокие дозы удобрений. Внесение P50 непосредственно под яровую пшеницу на вар. 8 в дополнение к ранее внесенным фосфорным удобрениям в чистом пару не дало преимущества перед их последствием на вар. 11а. Применение высоких доз азотных удобрений также способствовало получению достоверной прибавки урожая зерна к контролю в острозасушливом 1979 г.

В третьей ротации оптимальный уровень влагообеспеченности вегетационного периода в 1985 г. позволил максимально эффективно использовать применяемые удобрения. Так, N60P40 на вар. 8 и N80 на вар. 11а обеспечили рост урожая зерна яровой пшеницы по отношению к контролю на 43,3 и 38,4 % соответственно (см. таблицу 1). В среднезасушливые годы третьей ротации севооборота урожайность яровой пшеницы существенно отличалась. При уровне





ГТК = 0,86 в 1983 г. урожайность яровой пшеницы без применения удобрений была чуть выше 1 т/га. Внесение средних и высоких доз удобрений способствовало увеличению урожайности зерна по отношению к контролю практически в 1,5 раза. Снижение значения ГТК за май – июль в 1984 г. по сравнению с предыдущим годом на 29 % привело к многократному снижению урожайности яровой пшеницы. Как показали метеонаблюдения, причиной невысокой урожайности были не только низкое значение ГТК, но и сложившийся характер распределения осадков в период вегетации. Так, после посева яровой пшеницы в мае выпало всего 3,2 мм осадков, а в это же время в 1983 г. – 85,4 мм. В июле 1984 г. суммарное количество осадков составило 77,4 мм, что в 3 раза выше аналогичного значения предыдущего года.

В четвертой ротации севооборота два года из трех (1989 и 1990) характеризовались как влагообеспеченные. Применение N60 на вар. 8 показало наибольшую эффективность (прибавка к контролю 67 %). Повышение дозы азотных удобрений до N90 не приводило к дополнительному росту урожайности. Несмотря на достоверность полученной прибавки урожая зерна к контролю, эффективность дозы N90 была ниже. В благоприятных гидротермических условиях 1990 г. урожайность яровой пшеницы на контрольном варианте выросла, а прибавки от средних и высоких доз азотных удобрений были сопоставимы. В 1991 г. даже при низком значении ГТК от применения азотных удобрений были получены статистически достоверные прибавки урожая зерна. Невысокий показатель урожайности яровой пшеницы при хорошей влагообеспеченности вегетационного периода в 1989 г. был обусловлен низкой среднемесячной температурой воздуха в мае (13,1 °С), что негативно сказывалось на прогревании верхнего слоя почвы и приводило к замедлению развития растений яровой пшеницы на начальном этапе их роста.

Таблица 1 – Прямое действие минеральных удобрений на яровой мягкой пшенице в 1–4-й ротациях зернопаропропашного севооборота (по годам)

Table 1 – Direct effect of mineral fertilizers on spring soft wheat in 1-4 rotations of grain-to-crop rotation

Вариант / доза удобрений	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га
1-я ротация						
1. Контроль (без удобрений)	1973 г. (ГТК = 1,15)		1971 г. (ГТК = 0,43)		1972 г. (ГТК = 0,28)	
	3,47		1,32		0,27	
8. N60P40	3,68	0,21	1,55	0,23	0,29	0,02
11а. N60	3,94	0,47	1,57	0,25	0,29	0,02
HCP ₀₅	0,23		0,15		$F_{\text{теор}} \geq F_{\text{прак}}$	
2-я ротация						
1. Контроль (без удобрений)	1978 г. (ГТК = 1,17)		1977 г. (ГТК = 0,76)		1979 г. (ГТК = 0,33)	
	3,00		0,90		1,23	
8. N40P50	3,21	0,21	1,35	0,45	1,43	0,20
11а. N60	3,51	0,51	1,38	0,48	1,59	0,36
HCP ₀₅	0,22		0,19		0,18	
3-я ротация						
1. Контроль (без удобрений)	1985 г. (ГТК = 1,12)		1983 г. (ГТК = 0,86)		1984 г. (ГТК = 0,61)	
	3,07		1,15		0,18	
8. N60P40	4,40	1,33	1,63	0,48	0,20	0,02
11а. N80	4,25	1,18	1,78	0,63	0,19	0,01
HCP ₀₅	0,28		0,16		$F_{\text{теор}} \geq F_{\text{прак}}$	
4-я ротация						
1. Контроль (без удобрений)	1989 г. (ГТК = 1,47)		1990 г. (ГТК = 1,10)		1991 г. (ГТК = 0,40)	
	0,88		1,37		1,11	
8. N60	1,47	0,59	2,03	0,66	1,38	0,27
11а. N90	1,29	0,41	2,04	0,67	1,53	0,42
HCP ₀₅	0,26		0,36		0,23	

В пятой ротации хорошая влагообеспеченность вегетационного периода в 1997 г. способствовала высокой эффективности азотных и азотно-фосфорных удобрений на яровой пшенице (рост по отношению к контролю в 1,57–1,81 раза). В среднезасушливых условиях 1996 г. урожайность яровой пшеницы на контрольном варианте существенно снижалась, а прибавка от применения удобрений не превышала 25 %. Несмотря на статистически достоверные показатели прироста урожая зерна к контролю в острозасушливом 1995 г., в целом урожайность яровой пшеницы была крайне низкой (таблица 2).

В шестой ротации, как и в предыдущей, только один год из трех был острозасушливым. В условиях влагообеспеченного 2003 г. внесение N60 дало рост урожайности по отношению к контролю на 48 %, а N90 – на 65 %. В условиях среднезасушливого 2001 г. эффективность азотных удобрений оставалась высокой. Однако повышение их дозы до N90 дополнительному росту урожая яровой пшеницы не способствовало. В острозасушливом 2002 г. ситуация с эффективностью средних и высоких доз азотных удобрений оказалась аналогичной пятой ротации. Тем не менее, полученные прибавки урожая зерна к контролю здесь были статистически достоверными.

В седьмой ротации, несмотря на отсутствие острозасушливых лет, урожайность яровой пшеницы была невысокой, а применение азотных удобрений приводило к существенному росту данного показателя. Причина этого заключалась в неравномерном распределении осадков в период вегетации по годам в этой ротации севооборота. Так, высокие сборы зерна были во влагообеспеченные годы, когда значительная часть осадков приходилась на май и июнь, т. е. при прохождении критических периодов развития растений яровой пшеницы. В 2008 г. в этой ротации более половины осадков выпало в июле (108,5 мм), а в среднезасушливые 2007 и 2009 гг. они в сумме за май – июль составляли только 126,5 и 112,6 мм соответственно.

Таблица 2 – Прямое действие минеральных удобрений на яровой мягкой пшенице в 5–9-й ротациях зернопарового севооборота (по годам)

Table 2 – Direct effect of mineral fertilizers on spring soft wheat in 5-9 rotations of the grain–steam crop rotation

Вариант / доза удобрений	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га
5-я ротация						
1. Контроль (без удобрений)	1997 г. (ГТК = 1,19)		1996 г. (ГТК = 0,60)		1995 г. (ГТК = 0,38)	
	1,94		1,19		0,34	
8. N60P40	3,05	1,11	1,44	0,25	0,54	0,20
11а. N90	3,52	1,58	1,49	0,30	0,50	0,16
HCP ₀₅	0,52		0,23		0,14	
6-я ротация						
1. Контроль (без удобрений)	2003 г. (ГТК = 1,24)		2001 г. (ГТК = 0,96)		2002 г. (ГТК = 0,39)	
	1,88		1,74		1,08	
8. N60	2,78	0,90	2,45	0,71	1,47	0,39
11а. N90	3,10	1,22	2,47	0,73	1,47	0,39
HCP ₀₅	0,25		0,34		0,22	
7-я ротация						
1. Контроль (без удобрений)	2008 г. (ГТК = 1,20)		2007 г. (ГТК = 0,68)		2009 г. (ГТК = 0,67)	
	0,76		0,97		0,14	
8. N60	1,24	0,48	1,26	0,29	0,41	0,27
11а. N90P40	1,27	0,51	1,30	0,33	0,25	0,11
HCP ₀₅	0,34		0,30		0,10	
8-я ротация						
1. Контроль (без удобрений)	2013 г. (ГТК = 1,17)		2015 г. (ГТК = 0,74)		2014 г. (ГТК = 0,60)	
	1,74		1,26		1,53	
8. N60	1,89	0,15	1,39	0,13	2,61	1,08
11а. N60P40	1,94	0,20	1,34	0,08	2,72	1,16
HCP ₀₅	$F_{теор} \geq F_{прак}$		$F_{теор} \geq F_{прак}$		0,62	



Вариант / доза удобрений	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га	Урожайность, т/га	Прибавка, т/га
9-я ротация						
1. Контроль (без удобрений)	2021 г. (ГТК = 0,80)		2020 г. (ГТК = 0,71)		2019 г. (ГТК = 0,55)	
	0,26		0,74		0,78	
8. N60	0,36	0,10	1,36	0,62	1,05	0,27
11а. N60	0,59	0,33	1,31	0,57	1,10	0,32
HCP ₀₅	0,19		0,19		0,18	

В восьмой ротации севооборота достоверные прибавки урожая зерна яровой пшеницы по отношению к контролю получили только в среднезасушливом 2014 г. Эффективность средних и высоких доз азотных удобрений при этом была практически равнозначной.

Урожайность яровой пшеницы в девятой ротации, несмотря на отсутствие острозасушливых лет, была крайне низкой. В 2019 г. в мае и июне суммарно выпало лишь 55,3 мм осадков, что в 2,0–2,5 раза меньше, чем во влагообеспеченные годы с оптимальным распределением осадков за период вегетации. Крайне негативными погодными условиями отличались 2020 и 2021 гг. Это резкие скачки температуры атмосферного воздуха (до 29,7–30,3 °С) в первые две декады июля, что, вероятно, вызвало стерилизацию пыльцы во время цветения растений яровой пшеницы и тем самым снизило ее продукционный потенциал.

Не менее интересные результаты были получены от последствия минеральных удобрений на яровой пшенице. Так, во влагообеспеченные годы фосфорные удобрения, ранее внесенные в чистом пару, а также азотные удобрения (позднеосенняя подкормка озимой пшеницы) обладали последствием на яровой мягкой пшенице на протяжении всего периода исследований (рисунок 1). В первые три ротации последствие азотно-фосфорных удобрений на вар. б было не столь выражено, поскольку общая урожайность яровой пшеницы в опыте была высокой. Но уже в пятой и шестой ротациях севооборота урожайность на этом варианте по отношению к контролю выросла на 35,0 и 20,2 % соответственно.

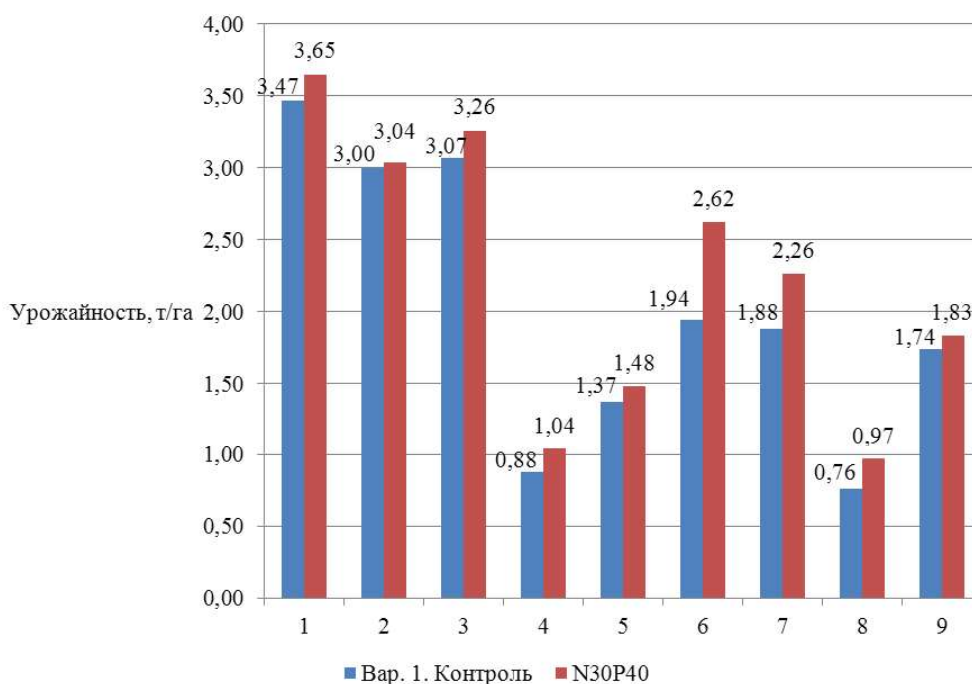


Рисунок 1 – Урожайность яровой мягкой пшеницы за 9 лет (1973–2013 гг.) на варианте с последствием N30P40 при ГТК>1,0

Figure 1 – Yield of spring soft wheat for 9 years (1973–2013) on the variant with aftereffect N30P40 at hydrothermal coefficient>1.0



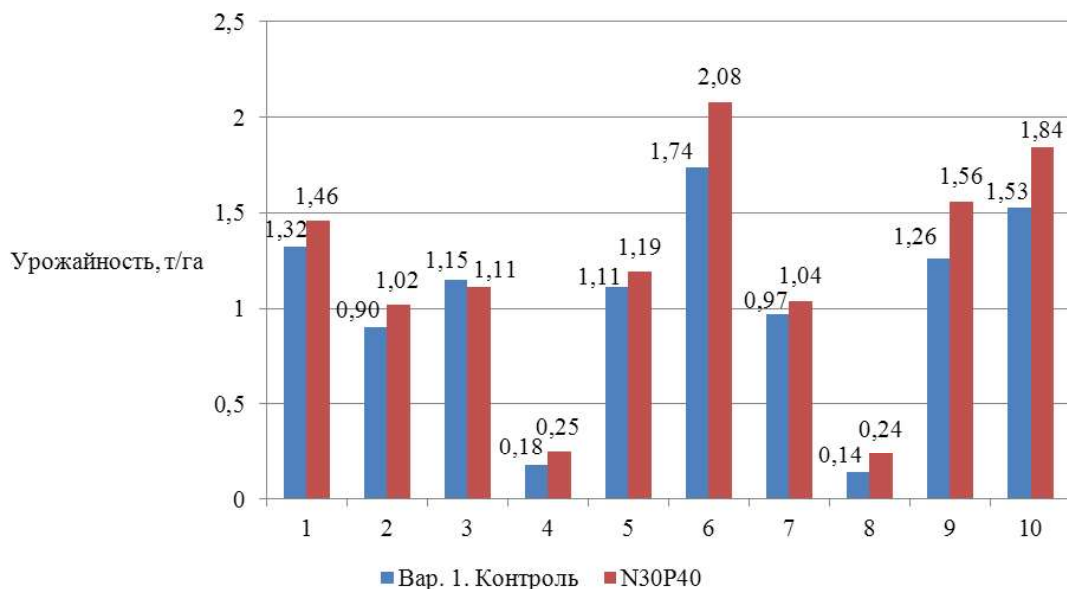


Рисунок 2 – Урожайность яровой мягкой пшеницы за 10 лет (отдельные годы в период 1972–2002 гг.) на варианте с последствием дозы N30P40 при ГТК = 0,4–1,0

Figure 2 –Yield of spring soft wheat for 10 years (some years in the period 1972–2002) on the variant with the aftereffect of the dose N30P40 at hydrothermal coefficient = 0.4–1.0

Практически такое же количество лет яровая мягкая пшеница в опыте возделывалась в среднезасушливых гидротермических условиях вегетационного периода. Как и во влагообеспеченные годы, практически повсеместно отмечался рост ее урожайности на варианте с последствием азотно-фосфорных удобрений (рисунок 2). В отличие от влагообеспеченных лет максимальные значения урожайности яровой пшеницы в среднезасушливые годы были значительно ниже. Тем не менее, рост урожайности зерна по отношению к контролю (при средней урожайности контроля >1,0 т/га) от последствия удобрений в отдельные годы достигал 19,5–23,8 %.

За все время проведения стационарного опыта яровая пшеница четыре года возделывалась в острозасушливых условиях. Характерная для этих лет неравномерность распределения агроклиматических ресурсов в отдельные месяцы и декады периода вегетации приводила к значительным колебаниям урожайности яровой пшеницы (рисунок 3).

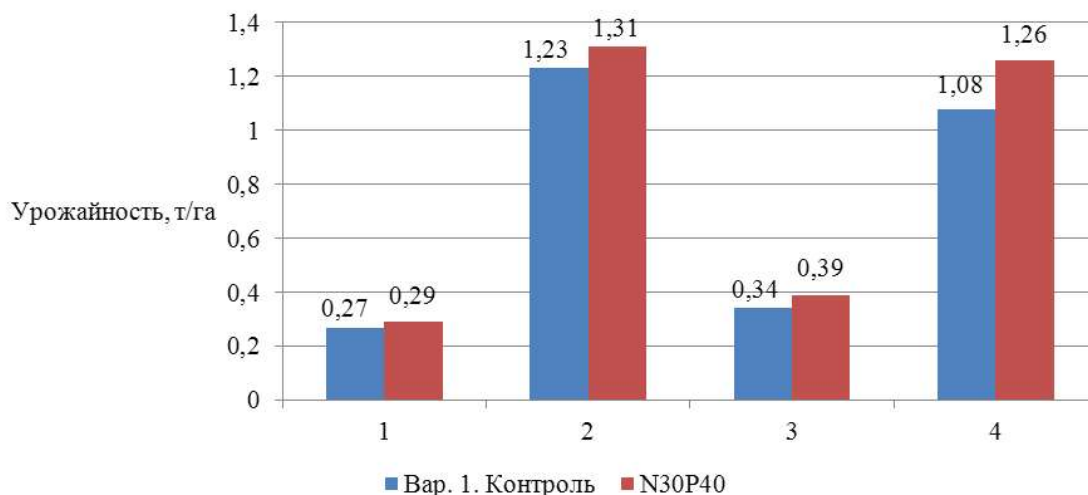


Рисунок 3 – Урожайность яровой мягкой пшеницы за 4 года (1972–2002 гг.) на варианте с последствием дозы N30P40 при ГТК<0,4

Figure 3 –Yield of spring soft wheat for 4 years (1972–2002) on the variant with the aftereffect of the dose of N30P40 at hydrothermal coefficient<0.4

Несмотря на близкие значения урожайности зерна на контроле и варианте с последствием азотно-фосфорных удобрений, имела место общая положительная тенденция роста продуктивности данной культуры от последствия ранее внесенных минеральных удобрений.





Как отмечалось ранее, существенные различия по урожайности яровой мягкой пшеницы в годы со схожим по уровню влагообеспеченности вегетационным периодом были вызваны, в том числе, температурными колебаниями атмосферного воздуха в отдельные месяцы. Корреляционный анализ показал, что между среднемесячной температурой воздуха в июне и урожайностью яровой пшеницы образовалась обратная корреляционная связь ($r = -0,47$ для контроля и $r = -0,44$ для вар. 6). С ростом среднемесячной температуры воздуха в июне урожайность яровой пшеницы снижалась. Исходя из полученных значений коэффициента детерминации, степень влияния температуры воздуха в июне на урожайность зерна яровой пшеницы составила 19–22 % (рисунок 4). В данном случае негативное действие повышения среднемесячной температуры воздуха в июне на урожайность яровой пшеницы связано со снижением количества осадков, что в целом существенно ухудшает гидротермические условия в критический период развития растений (корреляционная зависимость между ГТК июня и урожайностью $r = 0,54$).

Влияние среднемесячной температуры воздуха в июле на урожайность яровой пшеницы было аналогичным ($r = -0,44$ для контроля и $r = -0,42$ для варианта с последствием удобрений). В этом случае непосредственное негативное влияние на вегетирующие растения оказывало резкое повышение среднемесячной температуры воздуха в отдельные годы, поскольку корреляционная связь между ГТК июля и урожайностью яровой пшеницы отсутствовала.

Заключение. Полученные в условиях длительного стационарного опыта экспериментальные данные действия и последствия минеральных удобрений позволили определить роль таких факторов, как климат и удобрения в формировании урожайности яровой мягкой пшеницы. Установлена самая эффективная доза азотных удобрений – N60. Она обеспечивала высокие прибавки урожая зерна, как во влажные, так и среднезасушливые годы. Повышение ее до N80–90 не оказывало существенного влияния на урожайность яровой пшеницы в среднезасушливые годы, только в отдельные влагообеспеченные годы это приводило к дополнительному росту урожая зерна.

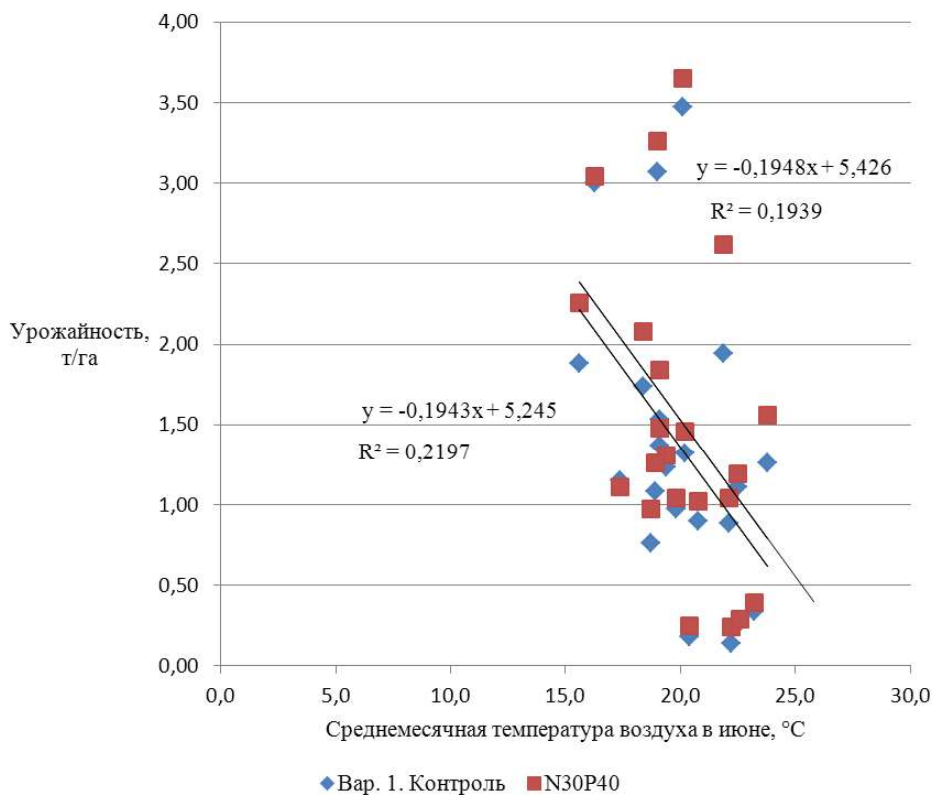


Рисунок 4 – Зависимость между урожайностью яровой мягкой пшеницы и среднемесячной температурой воздуха в июне при изучении последствия ранее внесенных минеральных удобрений
Figure 4 – The relationship between the yield of spring soft wheat and the average monthly air temperature in June when studying the aftereffect of previously applied mineral fertilizers



В острозасушливые годы эффективность минеральных удобрений существенно снижалась. Внесение фосфорных удобрений непосредственно под яровую пшеницу не имело преимуществ перед их последствием. Независимо от уровня влагообеспеченности вегетационного периода в стационарном опыте отмечался рост урожая зерна яровой мягкой пшеницы от последствия ранее внесенных под предшествующую культуру минеральных удобрений.

Необходимо отметить, что урожайность яровой пшеницы зависела не только от гидротермических условий вегетационного периода в целом, но и характера их изменений в отдельные месяцы вегетации. Например, наибольшее значение для продуктивности данной культуры имело количество осадков в мае и июне. Кроме того, большую роль играли гидротермические условия июня, когда достигался баланс между среднемесячной температурой воздуха и количеством осадков. При этом формировался оптимальный уровень увлажненности верхнего слоя почвы, что предотвращало его иссушение. В то же время, как показали исследования, в июле значимость осадков была незначительна, наибольшее влияние на урожайность оказывала среднемесячная температура воздуха. Резкие ее колебания в отдельные годы исследований имели тенденцию роста и создавали угрозу вегетирующим растениям яровой мягкой пшеницы в фазу цветения. Вследствие того, что сроки проведения посевных работ в нашем случае в разные годы отличались, негативное действие данного явления могло усиливаться. Это обстоятельство требует особого внимания к соблюдению сроков сева яровой мягкой пшеницы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Адрианов С. Н. Оптимальные показатели фосфатного состояния дерново-подзолистых почв // Плодородие. 2005. № 6. С. 8–10.
2. Азизов З. М. Влияние приемов основной обработки почвы и последствия азотных удобрений на урожайность яровой пшеницы в севообороте по мере удаления от лесополосы // Аграрный научный журнал. 2018. № 10. С. 3–7. DOI 10.28983/asj.v0i10.602. EDN VKJPP0.
3. Доспехов Б. А. Методика полевого опыта. 5-е изд., перераб и доп. М.: Агропромиздат, 1985. 351 с.
4. Дышко В. Н. Последствие фосфатной муки в зернотравяном севообороте // Плодородие. 2003. № 4. С. 18–19.
5. Замятин С. А., Максимова Р. Б., Манишкин С. Г. Последствие внесения минеральных и органических удобрений в звене севооборота // Актуальные вопросы совершенствования технологии производства и переработки продукции сельского хозяйства: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Йошкар-Ола, 16–17 марта 2022. Йошкар-Ола: Марийский государственный университет, 2022. Вып. XXIV. С. 14–16. EDN MCCEBH.
6. Изучение длительного действия минеральных удобрений в стационарном опыте в степном Поволжье / В. В. Пронько [и др.] // Агрохимия. 2023. № 2. С. 15–28. DOI 10.31857/S0002188123020126. EDNMTBCFJ.
7. Минеев В. Г. Агрохимия. 3-е изд., перераб. и доп. М.: Изд-во Моск. ун-та, 2006. 692 с.
8. Небольсин А. Н., Небольсина З. П. Теоретические основы известкования почв. СПб.: ЛНИИСХ, 2005. 252 с.
9. Никифорова С. А., Захаров С. А. Отзывчивость яровой пшеницы на действие и последствие органических и минеральных удобрений // Вестник Ульяновской государственной сельскохозяйственной академии. 2020. № 4(52). С. 88–93. DOI 10.18286/1816-4501-2020-4-88-93. EDN FGDITQ.
10. Продуктивность яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) при систематическом удобрении в условиях длительного стационарного опыта в Поволжье / М. П. Чуб [и др.] // Проблемы агрохимии и экологии. 2014. № 4. С. 3–8.
11. Сушеница Б. А. Фосфатный уровень почв и его регулирование. М.: Колос, 2007. 376 с.
12. Шаповалова Н. Н., Шустикова Е. П. Изменение агрохимического состояния и продуктивности чернозема обыкновенного в последствии длительного систематического внесения минеральных удобрений // Итоги выполнения программы фундаментальных научных исследований государственных академий на 2013–2020 гг. : материалы Всерос. координационного совещания научных учреждений-участников Географической сети опытов с удобрениями, Москва, 16–17 апреля 2018. Москва: Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии имени Д.Н. Прянишникова, 2018. С. 363–377.
13. Эффективность длительного применения удобрений в агроценозах степной зоны Саратовского Поволжья в условиях аридного климата / В. В. Пронько [и др.] // Бюлл. Геосети ВНИИА. М., 2014. Вып. 15. 56 с.



14. Ярошенко Т. М., Журавлев Д. Ю., Климова Н. Ф. Влияние длительного применения различных доз минеральных удобрений на продуктивность культур зернопарового севооборота в условиях засушливой степи Поволжья // Аграрный научный журнал. 2021. № 8. С. 49–56. DOI 10.28983/asj.y2021i8pp49-56. EDN CGJQHZ.

REFERENCES

1. Adrianov S. N. Optimal indicators of the phosphate state of sod-podzolic soils. *Fertility*. 2005;(6):8–10. (In Russ.).
2. Azizov Z. M. The influence of basic tillage techniques and the aftereffect of nitrogen fertilizers on the yield of spring wheat in crop rotation as it moves away from the forest belt. *Agrarian Scientific Journal*. 2018;(10):3–7. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.v0i10.602. EDN VKJPP0.
3. Dospekhov B. A. Methodology of field experience. 5th ed., additional and revised. Moscow: Agropromizdat; 1985. 351 p. (In Russ.).
4. Dyshko V. N. The aftereffect of phosphate flour in the grain-grass crop rotation. *Fertility*. 2003;(4):18–19. (In Russ.).
5. Zamyatin S. A., Maksimova R. B., Manishkin S. G. The aftereffect of applying mineral and organic fertilizers in the link of crop rotation. Topical issues of improving the technology of production and processing of agricultural products: Proceedings of the International Scientific and practical conference, Yoshkar-Ola, March 16–17 2022. Yoshkar-Ola: Mari State University; 2022. Vol. XXIV. P. 14–16. (In Russ.). EDN MCCEBH.
6. The study of the long-term effect of mineral fertilizers in stationary experiment in the steppe Volga region / V. V. Pronko et al. *Agrochemistry*. 2023;(2):15–28. (In Russ.). DOI: 10.31857/S0002188123020126. EDNMTBCFJ.
7. Mineev V. G. Agrochemistry. 3rd ed., reprint. and additional. Moscow: Publishing house of Moscow State University; 2006. 692 p. (In Russ.).
8. Nebolsin A. N., Nebolsina Z. P. Theoretical foundations of soil liming. St. Petersburg: LNIISKH; 2005. 252 p. (In Russ.).
9. Nikiforova S. A., Zakharov S. A. Responsiveness of spring wheat to the effect and aftereffect of organic and mineral fertilizers. *Bulletin of the Ulyanovsk State Agricultural Academy*. 2020;4(52):88–93. (In Russ.). DOI: 10.18286/1816-4501-2020-4-88-93. EDN FGDITQ.
10. Productivity of spring wheat (*Triticum aestivum* L.) with systematic fertilization under conditions of long-term stationary experiment in the Volga region / M. P. Chub et al. *Problems of Agrochemistry and Ecology*. 2014;(4):3–8. (In Russ.).
11. Sushenitsa B. A. The phosphate level of soils and its regulation. Moscow: Kolos; 2007. 376 p. (In Russ.).
12. Shapovalova N. N., Shustikova E. P. Changes in the agrochemical state and productivity of ordinary chernozem in the aftereffect of long-term systematic application of mineral fertilizers. . Results of the implementation of the program of fundamental scientific research of state academies for 2013-2020 : Materials of the All-Russian Coordination Meeting of scientific institutions participating in the Geographical Network of experiments with Fertilizers, Moscow, April 16-17 2018. Moscow: D. N. Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry; 2018. P. 363–377. (In Russ.).
13. The effectiveness of long-term use of fertilizers in the agrocenoses of the steppe zone of the Saratov Volga region in an arid climate / V. V. Pronko, T. M. Yaroshenko, N. F. Klimova, D. Yu. Zhuravlev, V. G. Sychev, V. A. Romanenkov, M. V. Belichenko. *Byull. VNIIA geosets*. Moscow; 2014. Is.15. 56 p. (In Russ.).
14. Yaroshenko T. M., Zhuravlev D. Yu., Klimova N. F. The effect of prolonged use of various doses of mineral fertilizers on the productivity of crops of grain-steam crop rotation in the conditions of the arid steppe of the Volga region. *Agrarian Scientific Journal*. 2021;(8):49–56. (In Russ.). DOI: 10.28983/asj.y2021i8pp49-56. EDN CGJQHZ.

Статья поступила в редакцию 15.03.2024; одобрена после рецензирования 18.04.2024; принята к публикации 23.04.2024.

The article was submitted 15.03.2024; approved after reviewing 18.04.2024; accepted for publication 23.04.2024.