

The data that characterize the effectiveness of the use of mineral fertilizers for grain crops over a five-year period in the subjects of the federation in the main natural and climatic zones are presented. The scientific basis for this was a new method for determining the contribution of mineral fertilizers to the formation of crop yields, developed by Pryanishnikov Institute of Agrochemistry using regional standards for the payback of mineral fertilizers by increasing the yield of grain crops. The results of the research showed that the use of mineral fertilizers had a great impact on the yield of grain crops. In the non-chernozem zone, the application of mineral fertilizers ranged by region from 15 to 78 kg/ha of sown area, while the yield varied from 14.6 to 45.2 kg/ha. On the chernozems of the European part, fertilization was 15-87 kg/ha, the yield was 21.3-54.3 kg/ha, the Asian part was 1-34 kg/ha and 12.1-23.2 kg/ha, respectively.

Key words: mineral fertilizers, grain yield, contribution of mineral fertilizers, agrochemical properties of the soil.

УДК 633.11:631.452:631.842.4

DOI: 10.25680/S19948603.2022.126.02

ВЛИЯНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВЫ ПОДВИЖНЫМ ФОСФОРОМ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ И ФОРМИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СТРУКТУРЫ УРОЖАЯ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ

В.М. Лапушкин, к.б.н.^{1,2}, О.А. Муравьева², А.А. Лапушкина, к.б.н.^{1,2}, М.А. Волкова¹

¹ФГБОУ ВО РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева,

e-mail: lapushkin@rgau-mscha.ru, marina.volkova.2012@mail.ru

²ФГБНУ «ВНИИ агрохимии» имени Д.Н. Прянишникова,

e-mail: noisia4u@yandex.ru

Представлены результаты серии вегетационных опытов, проведенных на дерново-подзолистой почве с разным содержанием подвижного фосфора, изучено влияние различных доз азотных удобрений на урожай и качество двух сортов мягкой яровой пшеницы: Московская 35 и Любава. Исследования показали, что на фоне повышенного содержания фосфора в почве при внесении азота в дозе 150 и 250 мг/кг урожай был выше на 34-95%, чем на бедной фосфором почве в аналогичных вариантах. Обеспеченность почвы подвижными фосфатами не оказала существенного влияния на белковость зерна, но способствовала более эффективному потреблению растениями азота удобрений, увеличивая коэффициенты использования азота до 59%. Установлено, что современный сорт пшеницы стабильно обеспечивал получение более высокого и качественного урожая на всех изучаемых уровнях минерального питания.

Ключевые слова: яровая пшеница, урожай, масса 1000 зерен, структура урожая, фосфор, аммиачная селитра, коэффициент использования азота, дерново-подзолистая почва.

Для цитирования: Лапушкин В.М., Муравьева О.А., Лапушкина А.А., Волкова М.А. Влияние обеспеченности почвы подвижным фосфором на эффективность азотных удобрений и формирование элементов структуры урожая яровой пшеницы // Плодородие. – 2022. – №3. – С. 6-12. DOI: 10.25680/S19948603.2022.126.02.

В последние два десятилетия в Российской Федерации отмечается усиление минерального питания большинства возделываемых сельскохозяйственных культур. Так, если в начале 2000-х годов обеспеченность пашни минеральными удобрениями составляла в среднем 19 кг д.в./га, то в 2010 г. она возросла в 2 раза и составила 38 кг/га. К 2020 г. валовое производство минеральных удобрений в России увеличилось до 24,9 млн т, в том числе 11,2 млн т азотных, 4,2 – фосфорных и 9,5 млн т калийных. Объем применяемых удобрений достиг 3,0 млн т д.в., а средняя обеспеченность ими пашни составила 69 кг д.в./га [1-3]. Однако сбалансированность по элементам питания, к сожалению, по-прежнему далека от физиологических потребностей выращиваемых растений. Среди применяемых видов удобрений основную долю занимают азотные, объем внесения которых почти в 3 раза превышает фосфорные и в 4 раза калийные. Это, в свою очередь, не может не сказаться на урожайности культур, качестве получаемой продукции, а также почвенном плодородии [3, 4].

Яровая пшеница является одной из наиболее ценных сельскохозяйственных культур и в настоящее время

занимает второе место среди зерновых по посевной площади, ею засеивается более 12,5 млн га. Одновременно, среди яровых зерновых культур, яровая пшеница наиболее требовательна к уровню почвенного плодородия, ее урожайность и качество в значительной степени зависят от технологии возделывания, и, в первую очередь, от уровня минерального питания. В условиях Нечерноземной зоны, безусловно, исключительная роль принадлежит азотным удобрениям, но, вместе с тем, по мере интенсификации земледелия (химизации, введения новых высокопродуктивных сортов и т.д.) усиливается реакция растений и на содержание в почве подвижных фосфатов [5, 6]. Таким образом, только подобрав физиологически обоснованное соотношение между отдельными элементами питания, можно добиться повышения эффективности применяемых удобрений, продуктивности с.-х. культур и качества урожая [7-9]. Валовый сбор зерна яровой пшеницы в 2020 г. составил 22,7 млн т при средней урожайности 18,8 ц/га. [3]. Однако практика показывает, что при современных технологиях возделывания в ЦРНЗ России на дерново-подзолистых почвах при среднемноголетнем количест-

ве осадков около 600 мм возможно получение более высоких урожаев [6, 10].

Цель исследования – изучить влияние доз азотных удобрений и обеспеченности почв подвижными формами фосфора на урожай и качество зерна яровой пшеницы.

Методика. Для проведения исследований был взят широко распространенный сорт яровой пшеницы – Любава, включенный в Госреестр в 2012 г. по Центральному региону РФ. Отзывчивость данного сорта на минеральное питания сравнивали с известным сортом (включен в Госреестр в 1975 г.) Московская 35. Оба сорта выведены в ФГБНУ «ФИЦ Немчиновка», имеют 3- и 4-й регионы допуска.

1. Агрохимическая характеристика дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы

Год	Фосфатный фон	Гумус, %	pH _{KCl}	Нг	S	ЕКО	V	P ₂ O ₅	K ₂ O	N _{дт}	N _{шт}
				мг-экв/100 г			%	мг/кг			
2018	Фон 1	1,45	4,5	3,4	11,3	14,7	77	37	110	35	72
	Фон 2	1,65	5,3	2,5	12,3	14,8	83	129	133	31	77
2019	Фон 1	1,52	4,6	4,3	11,2	15,6	72	56	173	42	77
	Фон 2	1,70	4,9	4,0	12,0	16,0	75	141	253	34	88

Примечание. Фон 1 – низкое содержание фосфора, Фон 2 – высокое содержание фосфора.

Определение агрохимических показателей почвы проводили по общепринятым методикам: содержание гумуса определяли по методу Тюрина (ГОСТ 26213-91), pH солевой вытяжки – по ГОСТу 26483-85, величину гидролитической кислотности по Каппену (ГОСТ 26212-91), сумму поглощенных оснований по Каппену-Гильковицу (ГОСТ 27821-88), содержание подвижного фосфора и обменного калия по методу Кирсанова (ГОСТ Р 54650-2011), содержание легкогидролизуемых форм азота по Тюрину-Кононовой, щелочногидролизуемого азота – по Корнфилду.

Несмотря на среднекислую реакцию почвенной вытяжки (в среднем pH_{KCl} = 4,8 ед.), известь в сосуды не вносили в виду довольно высокой степени насыщенности почвы основаниями – 77% (в среднем за два года).

В каждый сосуд высевали по 30 семян яровой пшеницы. После появления всходов проводили прореживание, убирая нетипичные для данного сосуда экземпляры. До созревания оставляли по 20 вегетирующих растений на сосуд. Урожай убирали в фазе полной спелости зерна, массу зерна приводили к стандартной влажности.

Схема опыта состояла из четырех вариантов с возрастающими дозами азота: 0, 50, 150 и 250 мг N/кг почвы. Необходимую дозу азота вносили в виде раствора аммиачной селитры.

Содержание основных элементов питания в растительном материале определяли по общепринятым методикам: валовое содержание азота методом Кьельдаля (ГОСТ 13496.4-93), фосфора – колориметрически (ГОСТ 26657-97), калия – пламенно-фотометрическим методом (ГОСТ 30504-97). Зерно и солома предварительно были озолены в серной кислоте с использованием металлического селена в качестве катализатора. Определение содержания белка в зерне проводили после экстракции небелкового азота деионизированной водой и осаждения водорастворимых белков трихлоруксусной кислотой. Полученные результаты были статистически обработаны с применением методов дисперсионного и корреляционно-регрессионного анализа с помощью программ STRAZ и MS Excel.

Результаты и их обсуждение. Так как растения выращивали вне культивационного сооружения под сет-

Чтобы установить влияние азотно-фосфорного питания на структуру урожая и химический состав выбранных сортов пшеницы, в 2018-2019 г. в РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева была проведена серия вегетационных опытов. Для набивки сосудов Митчерлиха емкостью 5 кг сухой почвы использовали пахотный горизонт дерново-подзолистой почвы, отобранной на агрополигоне в Барыбино (Опытная станция ФГБНУ ВНИИ агрохимии имени Д.Н. Прянишникова) с делянок с разным содержанием подвижного фосфора. Основные агрохимические показатели данной почвы представлены в таблице 1.

кой, в условиях более приближенных к естественным, следует отметить, что метеорологические условия в отдельные месяцы проведения исследований отличались от среднеевропейских значений (рис. 1). В вегетационный сезон 2018 г. в мае и августе отклонение от среднеевропейских значений составило +2,3 и +2,0 °С соответственно. Сумма выпавших осадков в большей мере отклонялась от среднеевропейских значений и составила в мае, июне и августе, соответственно, 74; 70 и 24% от нормы. Температурный режим в мае и июне 2019 г. превышал среднеевропейские значения на 2,4 и 2,1 °С, а в июле и августе был ниже на 3,1 и 1,4 °С соответственно. По сумме фактически выпавших осадков наибольшие отклонения наблюдались в июне, июле и августе: 70; 77 и 63% от нормы.

Из результатов проведенных исследований следует, что изучаемые факторы (режим питания и генетический потенциал сорта) оказали существенное влияние на формирование структурных элементов урожайности, которые определяют величину урожая. Так, в среднем за два года, при выращивании пшеницы обоих сортов на почвах как с низким, так и с высоким уровнем подвижного фосфора, с увеличением дозы азота отмечалось увеличение массы колоса и количества зерен в колосе. При этом, на почвах, более обеспеченных фосфором, данные показатели были значительно выше, чем при низком его содержании (табл. 2, 3).

У яровой пшеницы сорта Любава на почве, хорошо обеспеченной фосфором, при внесении оптимальной (150 мг/кг) и повышенной (250 мг/кг) доз азота масса колоса была выше, чем на почве с низкой обеспеченностью фосфором в среднем на 38 и 89% соответственно. Число зерен в нем также изменялось в зависимости от обеспеченности растений элементами питания. Максимальное число зерен в колосе отмечалось на почве, относящейся к IV группе по фосфору, в вариантах с внесением средней и высокой доз азота и составило 26 и 28 соответственно, что выше в сравнении с растениями, выращенными в условиях менее сбалансированных по элементам питания на 37 и 87% (табл. 2).

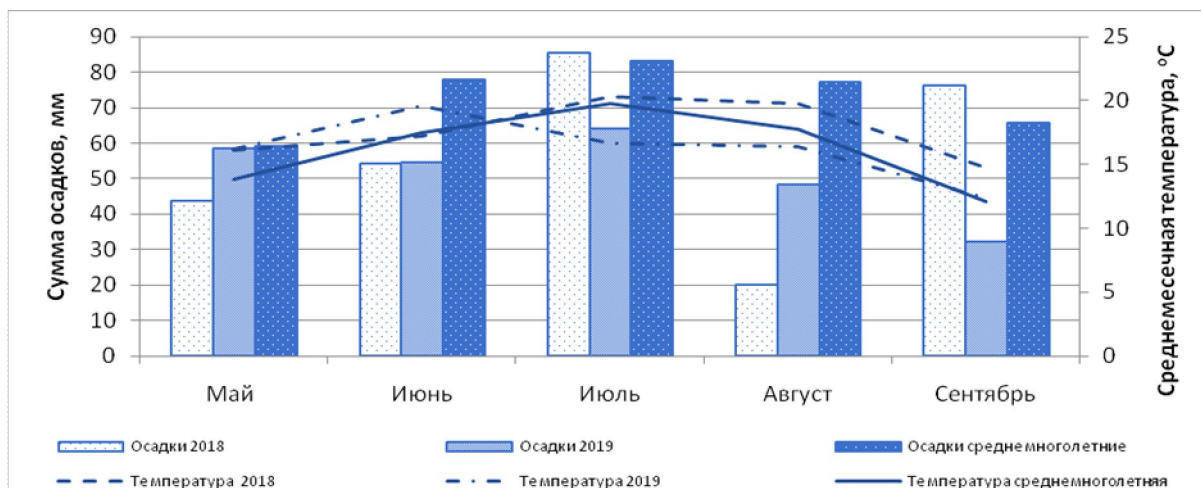


Рис. 1. Метеорологические условия вегетационного периода 2018-2019 г.
(по данным метеорологической обсерватории имени В.А. Михельсона РГАУ-МСХА имени К.А. Тимирязева)

2. Структура урожая яровой пшеницы сорта Любава в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором

Годы	Фактор А	Фактор В				Среднее по А
		0	N ₅₀	N ₁₅₀	N ₂₅₀	
2018	Масса колоса, г (HCP ₀₅ = 0,13)					HCP ₀₅ (A) = 0,06
	Низкое содержание P ₂ O ₅	0,34	0,69	0,87	0,69	0,65
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	0,39	0,71	1,00	1,09	0,80
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 0,09	0,37	0,70	0,93	0,89	-
2019	Масса колоса, г (HCP ₀₅ = 0,14)					HCP ₀₅ (A) = 0,07
	Низкое содержание P ₂ O ₅	0,37	0,88	0,99	0,75	0,75
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	0,41	1,03	1,56	1,63	1,16
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 0,10	0,39	0,96	1,28	1,19	-
2018	Число зерен в колосе (HCP ₀₅ = 2,08)					HCP ₀₅ (A) = 1,04
	Низкое содержание P ₂ O ₅	9,90	18,10	20,79	17,69	16,62
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	9,67	16,80	23,25	25,93	18,91
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 1,47	9,78	17,45	22,02	21,81	-
2019	Число зерен в колосе (HCP ₀₅ = 2,38)					HCP ₀₅ (A) = 1,19
	Низкое содержание P ₂ O ₅	9,30	18,69	18,02	13,19	14,80
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	9,55	20,83	29,25	29,80	22,36
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 1,68	9,43	19,76	23,63	21,50	-
2018	Масса 1000 зерен, г (HCP ₀₅ = 3,08)					HCP ₀₅ (A) = 1,54
	Низкое содержание P ₂ O ₅	29,64	32,79	35,82	32,14	32,60
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	34,33	35,01	36,67	36,21	35,55
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 2,18	31,98	33,90	36,24	34,17	-
2019	Масса 1000 зерен, г (HCP ₀₅ = 2,23)					HCP ₀₅ (A) = 1,11
	Низкое содержание P ₂ O ₅	31,25	38,17	45,13	44,29	39,71
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	33,90	40,56	44,97	45,52	41,24
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 1,58	32,58	39,36	45,05	44,91	-

3. Структура урожая яровой пшеницы сорта Московская 35 в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором

Годы	Фактор А	Фактор В				Среднее по А
		0	N ₅₀	N ₁₅₀	N ₂₅₀	
2018	Масса колоса, г (HCP ₀₅ = 0,11)					HCP ₀₅ (A) = 0,06
	Низкое содержание P ₂ O ₅	0,24	0,65	0,83	0,66	0,60
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	0,27	0,59	0,89	0,95	0,68
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 0,08	0,26	0,62	0,86	0,81	-
2019	Масса колоса, г (HCP ₀₅ = 0,14)					HCP ₀₅ (A) = 0,07
	Низкое содержание P ₂ O ₅	0,35	0,90	1,07	0,85	0,79
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	0,44	0,87	1,53	1,65	1,12
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 0,10	0,39	0,88	1,30	1,25	-
2018	Число зерен в колосе (HCP ₀₅ = 1,31)					HCP ₀₅ (A) = 0,65
	Низкое содержание P ₂ O ₅	6,82	16,48	18,68	17,42	14,85
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	7,65	15,83	21,28	22,55	16,83
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 0,92	7,23	16,16	19,98	19,98	-
2019	Число зерен в колосе (HCP ₀₅ = 2,67)					HCP ₀₅ (A) = 1,34
	Низкое содержание P ₂ O ₅	8,35	18,18	19,12	14,77	15,10
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	9,89	17,70	27,62	28,88	21,02
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 1,89	9,12	17,94	23,37	21,83	-
2018	Масса 1000 зерен, г (HCP ₀₅ = 3,93)					HCP ₀₅ (A) = 1,96
	Низкое содержание P ₂ O ₅	28,95	33,24	37,44	30,70	32,58
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	29,82	31,26	35,61	35,51	33,05
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 2,78	29,39	32,25	36,53	33,11	-
2019	Масса 1000 зерен, г (HCP ₀₅ = 1,60)					HCP ₀₅ (A) = 0,80
	Низкое содержание P ₂ O ₅	32,48	39,96	46,21	45,56	41,05
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	35,97	37,60	46,51	47,65	41,93
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 1,13	34,23	38,78	46,36	46,60	-

Аналогичная ситуация наблюдалась и у пшеницы сорта Московская 35. На почве, богатой фосфором, в варианте со средней дозой азота (150 мг/кг) масса колоса и число зерен в нем были выше на 27 и 76%, а в варианте с максимальной дозой азота (250 мг/кг) – на 71 и 63% соответственно (табл. 3).

Масса 1000 зерен – один из важнейших показателей, отражающих крупность и выполненность зерна. Она также является показателем качества семенного материала, в значительной мере определяет всхожесть и жизнеспособность зерна, а также учитывается при определении нормы высева. Из данных таблиц 2 и 3 видно, что увеличение массы 1000 зерен в значительной мере связано с ростом доз азотных удобрений. Необходимо отметить, что на почвах с повышенной обеспеченностью подвижным фосфором масса 1000 зерен у обоих сортов в целом выше, чем на почве с низким его содержанием [5, 11]. Наиболее сильное влияние на этот показатель качества обеспеченность подвижным фосфором оказала при выращивании современного сорта Любава, увеличение массы 1000 зерен достигало 12%.

Все изучаемые дозы азотных удобрений обеспечили получение достоверных прибавок урожая зерна яровой пшеницы двух сортов (табл. 4, 5, рис. 2). Связь между прибавкой урожая и дозами азотных удобрений характеризовалась как прямая по направлению и нелинейная по форме. Теснота связи находилась в прямой зависимости от обеспеченности почвы подвижным фосфором. Так при выращивании растений на почве с содержанием подвижных фосфатов, соответствующим II группе, связь характеризовалась корреляционным отношением $\eta = 0,39$, т.е. была умеренной. При увеличении содержания в почве фосфора до уровня IV группы связь усиливалась до $\eta = 0,63$ (рис. 2).

В целом по опыту, на фоне низкой обеспеченности фосфором, связь между урожайностью возделываемых растений и количеством внесенного азота характеризовалась сильной теснотой $\eta = 0,71$ и усиливалась до $\eta = 0,82$ при повышении содержания в почве подвижных фосфатов (рис. 3). Следует отметить, что максимальной продуктивностью обладали растения, выращиваемые на почве с повышенной обеспеченностью фосфором при внесении средней и высокой доз азотных удобрений. Напротив, применение повышенной дозы азота на почве с низким содержанием фосфора приводило к существенному снижению урожая зерна.

В среднем за два года исследований урожай яровой пшеницы сорта Любава, выращенной в вариантах с внесением оптимальной (150 мг/кг) и повышенной (250 мг/кг) доз азота на почве с повышенным содержанием подвижного фосфора, был на 34 и 95% выше, чем при недостаточной обеспеченности им почвы. Подобный результат наблюдался и по сорту Московская 35, прибавка урожая которого на повышенном фосфатном фоне в тех же вариантах опыта составила 31 и 81% (рис. 2).

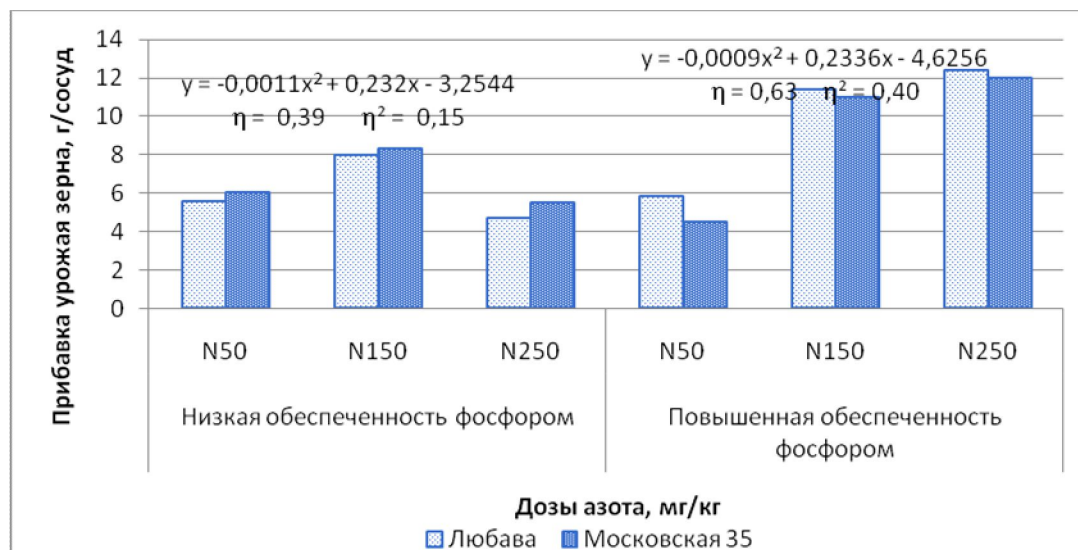
Установлено, что современный сорт пшеницы стабильно обеспечивал получение более высокого урожая на всех изучаемых уровнях минерального питания. За весь период исследований урожай сорта Любава без внесения азота на бедной фосфором почве был в среднем выше на 20% по сравнению с Московской 35. При выращивании на почве с повышенной обеспеченностью фосфором урожай пшеницы этого же сорта в контрольном варианте был выше на 13%, а применение различных доз азота стимулировало увеличение урожая на 6-22% по сравнению с сортом Московская 35 (см. табл. 4, 5).

4. Влияние доз азотных удобрений на урожай яровой пшеницы сорта Любава при различном содержании фосфора в почве

Годы	Фактор А	Фактор В				Среднее по А
		0	N ₅₀	N ₁₅₀	N ₂₅₀	
2018	Масса зерна, г/сосуд (HCP ₀₅ = 1,49)					HCP ₀₅ (A) = 0,74
	Низкое содержание P ₂ O ₅	4,00	8,92	11,50	8,83	8,31
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	4,89	8,97	12,80	13,84	10,13
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 1,05	4,45	8,95	12,15	11,33	-
2019	Масса зерна, г/сосуд (HCP ₀₅ = 1,81)					HCP ₀₅ (A) = 0,90
	Низкое содержание P ₂ O ₅	4,36	10,53	12,80	8,91	9,15
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	4,85	12,44	19,72	20,70	14,43
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 1,28	4,61	11,49	16,26	14,81	-
2018	Масса соломы, г/сосуд (HCP ₀₅ = 1,21)					HCP ₀₅ (A) = 0,60
	Низкое содержание P ₂ O ₅	5,05	9,57	11,04	9,99	8,91
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	7,29	11,72	14,61	14,74	12,09
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 0,85	6,17	10,64	12,82	12,37	-
2019	Масса соломы, г/сосуд (HCP ₀₅ = 2,08)					HCP ₀₅ (A) = 1,04
	Низкое содержание P ₂ O ₅	6,51	12,58	14,59	13,43	11,78
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	7,43	15,18	19,38	23,43	16,35
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 1,47	6,97	13,88	16,98	18,43	-

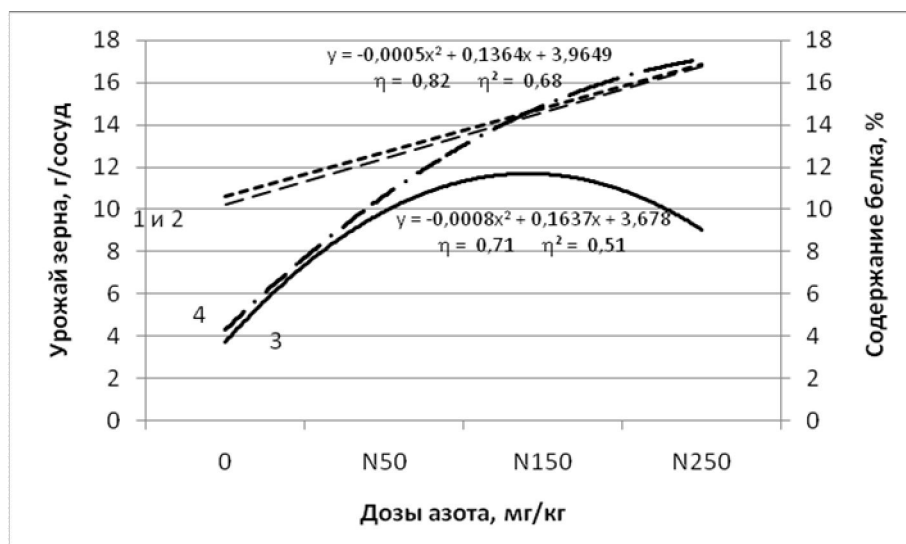
5. Влияние доз азотных удобрений на урожай яровой пшеницы сорта Московская 35 при различном содержании фосфора в почве

Годы	Фактор А	Фактор В				Среднее по А
		0	N ₅₀	N ₁₅₀	N ₂₅₀	
2018	Масса зерна, г/сосуд (HCP ₀₅ = 1,30)					HCP ₀₅ (A) = 0,65
	Низкое содержание P ₂ O ₅	2,87	8,06	10,30	7,90	7,29
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	3,36	7,45	11,38	11,98	8,54
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 0,92	3,12	7,76	10,84	9,94	-
2019	Масса зерна, г/сосуд (HCP ₀₅ = 1,72)					HCP ₀₅ (A) = 0,86
	Низкое содержание P ₂ O ₅	4,07	10,89	13,25	10,09	9,57
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	5,25	10,14	19,25	20,65	13,82
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 1,22	4,66	10,52	16,25	15,37	-
2018	Масса соломы, г/сосуд (HCP ₀₅ = 0,91)					HCP ₀₅ (A) = 0,46
	Низкое содержание P ₂ O ₅	4,30	8,84	10,32	9,44	8,22
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	5,66	9,97	12,55	13,72	10,48
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 0,65	4,98	9,41	11,43	11,58	-
2019	Масса соломы, г/сосуд (HCP ₀₅ = 1,94)					HCP ₀₅ (A) = 0,97
	Низкое содержание P ₂ O ₅	6,07	12,39	13,87	13,62	11,49
	Повышенное содержание P ₂ O ₅	7,19	12,44	19,12	20,90	14,91
	Среднее по В, HCP ₀₅ (B) = 1,37	6,63	12,42	16,50	17,26	-



Наиболее узкое соотношение зерна и соломы у двух сортов пшениц отмечалось в варианте с внесением дозы азота 150 мг/кг, независимо от обеспеченности почвы фосфором. Однако, при применении высокой дозы аммиачной селитры сохранение коэффициента хозяйственной эффективности на уровне 0,47-0,49 наблюда-

лось только при выращивании опытных растений на почве с повышенным содержанием фосфора. Внесение максимальной дозы азота при дефиците фосфора приводило к снижению $K_{хоз}$ на 10-12% по сравнению со средней дозой.



Уровень азотного и фосфорного питания, несомненно, оказал влияние и на химический состав урожая [12]. Содержание в зерне белка в вариантах с внесением оптимальной и повышенной доз азота было высоким и варьировало от 14,0 до 18,8%. Однако пшеница сорта Любава формировала зерно с большим содержанием белка (17,7-18,8%) по сравнению с Московской 35 (14,0-15,0%), особенно при оптимизации минерального питания (табл. 6).

На графике (рис. 3) представлена зависимость изменения белковости зерна от доз азотных удобрений при разной обеспеченности почвы фосфором, из которой следует, что основное влияние на повышение содержания белка в зерне двух сортов оказало азотное питание, а не повышение содержания в почве подвижных фосфатов. Белковость зерна линейно возрастала с увеличением доз азота вне зависимости от уровня фосфорного питания. Урожай зерна стабильно повышался лишь при

6. Химический состав урожая яровой пшеницы, % сух. в-ва

Вариант		Белок	Зерно			Солома		
			N	P ₂ O ₅	K ₂ O	N	P ₂ O ₅	K ₂ O
Любава								
P ₂ O ₅ – II	0	10,8	2,01	0,96	0,66	0,38	0,20	1,9
	N ₅₀	12,1	2,22	0,75	0,53	0,35	0,15	2,18
	N ₁₅₀	17,7	3,20	0,70	0,51	0,75	0,17	3,13
	N ₂₅₀	18,1	3,31	0,68	0,55	0,94	0,21	2,97
P ₂ O ₅ – IV	0	11,4	2,08	0,94	0,62	0,37	0,27	2,13
	N ₅₀	11,4	2,10	0,83	0,60	0,36	0,21	1,96
	N ₁₅₀	17,5	3,15	0,76	0,57	0,69	0,22	3,11
	N ₂₅₀	18,8	3,41	0,66	0,52	0,99	0,25	3,06
Московская 35								
P ₂ O ₅ – II	0	11,1	2,08	1,01	0,58	0,34	0,24	2,05
	N ₅₀	10,8	2,02	0,77	0,55	0,34	0,20	2,15
	N ₁₅₀	15,0	2,76	0,78	0,52	0,50	0,19	3,08
	N ₂₅₀	14,4	2,65	0,79	0,58	0,89	0,19	3,53
P ₂ O ₅ – IV	0	10,7	2,03	0,92	0,56	0,36	0,24	2,18
	N ₅₀	9,9	1,90	0,92	0,63	0,38	0,19	2,04
	N ₁₅₀	14,0	2,60	0,80	0,58	0,67	0,20	2,76
	N ₂₅₀	14,5	2,65	0,72	0,50	0,71	0,18	2,70

повышенной обеспеченности фосфором, что способствовало существенно более высокому валовому сбору белка.

Увеличение обеспеченности почвы подвижным фосфором в большей степени оказало влияние на изменение химического состава побочной продукции, способствуя повышению содержания фосфора в соломе пшеницы сорта Любава в среднем с 0,18 до 0,24%, что подтверждается литературными данными [12].

7. Вынос элементов питания урожаем яровой пшеницы и коэффициенты использования азота минеральных удобрений

Вариант	Любава					Московская 35				
		Вынос, мг/сосуд				КИУ N	Вынос, мг/сосуд			
		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	%		N	P ₂ O ₅	K ₂ O	%
P ₂ O ₅ – II	0	94	46	138	-	80	43	124	-	-
	N ₅₀	225	80	286	52	200	84	274	48	48
	N ₁₅₀	431	95	454	45	340	102	425	35	35
	N ₂₅₀	362	76	389	21	308	83	452	18	18
P ₂ O ₅ – IV	0	115	59	182	-	98	50	161	-	-
	N ₅₀	242	104	318	51	186	91	276	35	35
	N ₁₅₀	557	143	608	59	448	136	513	47	47
	N ₂₅₀	695	145	661	46	495	133	539	32	32

В таблице 7 приведены вынос питательных веществ урожаем яровой пшеницы и рассчитанные разностным методом коэффициенты использования азота минеральных удобрений. Результаты свидетельствуют, что оба показателя тесно коррелировали не только с урожайностью, дозами азотных удобрений, но и с содержанием в почве P₂O₅. В целом по опыту коэффициенты использования варьировались от 18 до 59%. Недостаток фосфора в почве приводил к заметному снижению эффективности азотных удобрений, особенно внесенных в высоких дозах. Так, при выращивании сорта Любава на бедной почве при внесении азота в минимальной дозе (50 мг/кг), коэффициент использования составил 52%, а дальнейшее увеличение дозы азота до 150 и 250 мг/кг приводило к снижению КИУ. При выращивании пшеницы сорта Московская 35 наблюдалась аналогичная зависимость. Дефицит фосфора в почве не позволил растениям в полной мере потребить внесенное количество азота и коэффициенты использования при увеличении доз снижались.

Достаточная обеспеченность растений фосфором, напротив, способствовала более эффективному использованию азота удобрений при внесении его в более высоких дозах [5, 8]. Наиболее высокие коэффициенты использования у обоих сортов отмечались в варианте с внесением оптимальной дозы азота (150 мг/кг). Так, у пшеницы сорта Любава коэффициент использования в данном варианте на почве, обеспеченной фосфором, достигал 59%, а у сорта Московская 35 47% (табл. 7).

Следует отметить, что растения сорта современной селекции Любава усваивали азот минеральных удобрений более эффективно, что подтверждается большим выносом и более высокими коэффициентами использования азота, которые были выше при дефиците фосфора на 17%, а при повышенном его содержании на 38%, по сравнению с сортом Московская 35 [13].

Заключение. Оба сорта яровой пшеницы формировали более высокие урожаи зерна при применении средней и высокой доз азотных удобрений (150 и 250 мг/кг) на фоне повышенного содержания в почве подвижного фосфора, обеспечивая прибавку урожая на 31-95% выше, чем в аналогичных вариантах на почве II группы по обеспеченности подвижными фосфатами. Наиболее продуктивным был сорт современной селекции Любава, урожай которого в контрольном варианте при дефиците фосфора был выше на 20%, а на почве с повышенной обеспеченностью фосфором – на 13% по сравнению с сортом Московская 35. Применение различных доз азота способствовало увеличению урожая Любавы на 6-22% по сравнению с Московской 35. Выявлено, что эффективность азотных удобрений повышается при оптимизации азотно-фосфорного питания на 12-32%. Таким образом, если внесение азотных удобрений под зерновые культуры – основа получения высоких урожаев, то условие повышения эффективности их использования – оптимизация фосфорного питания.

Литература

1. Манжина С.А. Анализ обеспечения АПК России удобрениями // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. – 2017. – № 3. – С. 199-221.
2. Лапушкин В.М., Аксентчик К.В., Малявин А.С. Производство минеральных удобрений. Энциклопедия технологий. Эволюция и сравнительный анализ ресурсной эффективности промышленных технологий. – М., С-П.: Центр экологической промышленной политики, 2019. – С. 515-561.
3. Сельское хозяйство в России. 2021: Стат.сб./Росстат – С 29. – М., 2021. – 100 с.
4. Шафран С.А. Баланс азота в земледелии России и его регулирование в современных условиях // Агрохимия. – 2020. – № 6. – С. 14-21.
5. Богдеевич И.М., Микулич В.А., Каленик Г.И. Зависимость урожайности и качества продукции зерновых культур от обеспеченности дерново-подзолистых супесчаных почв фосфором и доз минеральных удобрений // Почвоведение и агрохимия. – 2010. – № 2. – С. 55-72.
6. Шафран С.А., Духанина Т.М. Значение комплексного агрохимического окультуривания в повышении эффективности азотных удобрений под пшеницу // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 21-30.
7. Личко А.К., Личко Н.М., Новиков Н.Н. Агрохимические основы повышения качества зерна озимой пшеницы в условиях Центрального района Нечерноземной зоны // Известия ТСХА. – 2011. – № 5. – С.61-71.
8. Нестеренко В.А., Лапушкин В.М. Влияние обеспеченности почв подвижным фосфором и доз азотных удобрений на формирование урожая и качество яровой пшеницы // Агрохимический вестник. – 2021. – № 1. – С. 38-42
9. Ненайденко Г.Н., Сибиракова Т.В. Удобрение и качество зерна яровой пшеницы (*Triticum aestivum* L.) в Верхневолжье // Проблемы агрохимии и экологии. – 2017. – № 1. – С. 22-27.
10. Милащенко Н.З., Завалин А.А., Сычев В.Г., Самойлов Л.Н., Трушкин С.В. Факторы повышения эффективности удобрений в интенсивных технологиях возделывания пшеницы в России // Агрохимия. – 2015. – № 11. – С. 13-18.
11. Лапушкин В.М., Нестеренко В.А. Формирование урожая и качества зерна яровой пшеницы в зависимости от доз азотных удобрений и обеспеченности почвы подвижным фосфором // Плодородие. – 2019. – № 3. – С. 19-21.
12. Микулич В.А. Состав и вынос элементов питания урожаем яровой пшеницы при различной обеспеченности фосфором дерново-подзолистой супесчаной почвы // Почвоведение и агрохимия. – 2011. – № 1. – С. 135-145.
13. Гриб С.И., Берестов И.И., Мельников Р.В., Безлюдный В.Н. Урожайность и вынос азота яровой мягкой пшеницей в зависимости от сорта и уровня применения азотного удобрения // Земледелие и селекция в Беларуси. – 2016. – № 52. – С. 28-35.

INFLUENCE OF THE SUPPLY OF SOIL WITH MOBILE PHOSPHORUS ON THE EFFICIENCY OF NITROGEN FERTILIZERS IN GROWING SPRING WHEAT

V.M. Lapushkin^{1,2}, O.A.Muravyeva², A.A. Lapushkina^{1,2}, M.A.Volkova¹

¹RSAU-MTAA named after K.A.Timiryazev

²Pryanishnikov Institute of Agrochemistry

In a series of vegetative experiments carried out on sod-podzolic soil with different levels of phosphorus, the effect of various doses of nitrogen fertilizers on the yield, its structure and quality of two soft spring wheat varieties: Moskovskaya 35 and Lyubava was studied. The results of the research showed that against the background of an increased content of phosphorus in the soil with the introduction of nitrogen in the amount of 150 and 250 mg/kg, the yield was higher by 34-95% than on soil poor in phosphorus in similar variants. The provided of soil with mobile phosphates did not have a significant effect on grain protein content, but contributed to a more efficient use of fertilizer nitrogen by plants, increasing nitrogen utilization rates up to 59%. It has been established that a modern wheat variety consistently provided a higher and higher quality yield at all studied levels of mineral nutrition.

Keywords: spring wheat, yield, weight of 1000 grains, yield structure, phosphorus, ammonium nitrate, nitrogen utilization factor, sod-podzolic soil.

УДК 631.445.24.:631.85:631.821.1

DOI: 10.25680/S19948603.2022.126.03

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ БИОМОДИФИЦИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ ПОД ОЗИМУЮ ПШЕНИЦУ ПРИ РАЗЛИЧНОЙ РЕАКЦИИ ПОЧВЕННОЙ СРЕДЫ

**А.А. Завалин, акад. РАН, Н.А. Кирпичников, д.с.-х.н.,
С.П. Бижан, к.с.-х.н., С.Н. Сапожников, к.с.-х.н.,
ФГБНУ «Всероссийский научно-исследовательский институт
агрохимии им. Д.Н. Прянишникова» Россия,
127434, Москва, ул. Прянишникова, 31а
E-mail: kzuek@yandex.ru**

Представлены результаты оценки эффективности применения обычных и биомодифицированных минеральных удобрений под озимую пшеницу сорта Московская 39, выращиваемую на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве, характеризующейся различной реакцией почвенной среды, сформировавшейся при известковании исходной кислой почвы. Систематическое применение НК-удобрений на слабокультуренной дерново-подзолистой почве не приводило к повышению урожайности зерна озимой пшеницы по сравнению с вариантом без удобрений (контроль), что обусловлено сильной кислотностью почвы (pH_{KCl} 4,0), а также высоким содержанием подвижного алюминия (130 мг/кг). В этих условиях использование биомодифицированных удобрений не влияло на урожайность и качество зерна. Внесение Р-удобрений на фоне NP-удобрений повышало урожайность зерна на 70%, эффект от биомодификации составил 9%.

При применении полного удобрения (NPK) на известкованной почве, где реакция почвенной среды среднекислая (pH_{KCl} 5,4), получена урожайность зерна 52,7 ц/га. Обработка NPK-удобрений биопрепаратом обеспечила дальнейший рост урожая зерна до 58,0 ц/га. При этом в зерне повышалось содержание белка до 13%, сырой клейковины до 27% при содержании на контроле 11,6 и 25,5% соответственно. Максимальная окупаемость прибавкой урожая зерна озимой пшеницы вносимых удобрений 14-15 кг/кг получена на почве со слабокислой реакцией среды, минимальная – 5-6 кг/кг NPK на кислой почве, при использовании биомодифицированных удобрений окупаемость возрастает на 1-1,5 кг/кг.

Ключевые слова: минеральные удобрения, озимая пшеница, препарат бисолбифит, урожай, качество зерна.

Для цитирования: Завалин А.А., Кирпичников Н.А., Бижан С.П., Сапожников С.Н. Эффективность применения биомодифицированных удобрений под озимую пшеницу при различной реакции почвенной среды// Плодородие. – 2022. – №3. – С. 12-16. DOI: 10.25680/S19948603.2022.126.03.

При низком применении минеральных и органических удобрений формируется отрицательный баланс элементов питания в земледелии России, отсутствует потенциальная урожайность сельскохозяйственных культур, а качество растениеводческой продукции неудовлетворительное [5]. В этой связи необходимы поиск дополнительных источников минерального питания растений и повышение эффективности применяемых минеральных удобрений [10]. Одним из таких приемов может стать использование микробных препаратов, созданных на основе агрономически полезных микроорганизмов, обладающих комплексом таких свойств как стимуляция роста растений, фунгицидная и бактерицидная активность, мобилизация питательных веществ в почве [11]. Для этих целей используют микробный препарат бисолбифит, созданный на основе активного штамма *Bacillus subtilis* Ч-13, который применяют для биомодификации различных минеральных

удобрений с помощью нанесения его на гранулы [8]. Этот препарат повышает урожайность зерновых культур, улучшает использование растениями элементов питания [3, 4]. Однако экспериментальных данных по оценке эффективности использования препарата бисолбифит при нанесении его на гранулы минеральных удобрений под озимую пшеницу на дерново-подзолистых тяжелосуглинистых почвах с различной реакцией среды практически нет, тем более в условиях длительного полевого опыта.

Цель наших исследований – изучить в длительном полевом опыте эффективность применения биомодифицированных минеральных удобрений под озимую пшеницу на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве с различной кислотностью.

Методика. Исследования проводили в длительном полевом опыте СШ-27, заложенном в 1966 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центральной