

УДК 631.85:631.631.811.6:631.559:631.82:631.445.24:633.11“324”

## ВЛИЯНИЕ ФОСФОРНЫХ И МАГНИЕВЫХ УДОБРЕНИЙ НА МИНЕРАЛЬНОЕ ПИТАНИЕ И УРОЖАЙНОСТЬ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЫ

© 2024 г. Н. А. Кирпичников<sup>1</sup>, С. П. Бижан<sup>1,\*</sup>, В. В. Трибельгорн<sup>1</sup><sup>1</sup>Всероссийский научный-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова  
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

\*E-mail: kziek@yandex.ru

В многолетнем полевом опыте на сильноокислой слабокультуренной дерново-подзолистой почве выявлена высокая эффективность фосфорных удобрений в сочетании с магниевыми и известкованием при возделывании озимой пшеницы сорта Московская 56. При этих условиях повышалось содержание азота, фосфора и магния в растениях в фазе цветения. Улучшение минерального питания растений в данном случае обеспечило наибольшую урожайность (75.3 ц/га), превышающую уровень фона азотно-калийных удобрений в 2.7 раза, окупаемость минеральных удобрений (НРК) увеличивалась в 2.5 раза, достигая 16.7 кг/кг. Применение фосфорных удобрений на сильноокислой почве повышало урожайность на 65% при 27.5 ц/га на фоне азотно-калийных удобрений. На известкованной почве со слабоокислой реакцией среды урожайность от применения фосфорных удобрений увеличивалась на 19% по сравнению с фоном 58.1 кг/га. Прибавки урожайности при применении магниевых удобрений на фоне полного удобрения (НРК) снижались по мере уменьшения кислотности почвы и были существенными: на среднекислой почве – 4.9 и слабокислой – 6.1 ц/га. При максимальной урожайности озимой пшеницы за счет применения фосфорных и магниевых удобрений и снижения кислотности дерново-подзолистой почвы вынос элементов питания урожая озимой пшеницы увеличился: азота – в 3.5, фосфора – в 3.7, калия и магния – в 3 раза.

*Ключевые слова:* дерново-подзолистая почва, агрохимические свойства, фосфорные и магниевые удобрения, озимая пшеница, урожайность.

DOI: 10.31857/S0002188124060046, EDN: CXZCMY

### ВВЕДЕНИЕ

При известковании, оптимальном и сбалансированном применении минеральных удобрений и других средств химизации, как показали результаты многих исследований, существенно повышается урожайность озимой пшеницы [1–5]. В интенсивных технологиях возделывания озимой пшеницы наряду с другими элементами питания повышается потребность растений и в магнии [6]. Необходимость применения магниевых удобрений связана с большими потерями магния от инфильтрации при промывном режиме почв в зоне Нечерноземья, а также с увеличением площадей пашни со слабой его обеспеченностью [7, 8]. Эффективность магниевых удобрений зависит от гранулометрического состава почвы, агрохимических свойств, содержания подвижного магния в почве [9]. Цель работы – изучение в длительном полевом опыте влияния фосфорных и магниевых удобрений на содержание элементов питания в фазе цветения растений и их выноса урожаем озимой пшеницы сорта Московская 56 в зависимости от известкования дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование проводили в длительном полевом опыте СШ-27, заложенном в 1966 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центральной опытной станции ВНИИА (Московская обл.).

Исходная почва была слабокультуренной:  $pH_{KCl}$  3.9–4.2, сумма поглощенных оснований – 7.5–8.2 ммоль-экв/100 г почвы (по Каппену), гидролитическая кислотность – 4.9–5.2 ммоль-экв/100 г почвы (по Каппену–Гильковицу), степень насыщенности основаниями – 57–63%, содержание гумуса – 1.50%, подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) – 30–70 и 112–115 мг/кг соответственно, подвижного алюминия (по Соколову) – 45–60 мг/кг.

Севооборот в настоящее время (13-я ротация) – горох на сидерат, озимая пшеница, яровой ячмень.

При периодическом известковании дозами 11.5 и 23 т  $CaCO_3$ /га (за весь период) почва в 12-й ротации стала среднекислой ( $pH_{KCl}$  4.7) и слабокислой ( $pH_{KCl}$  5.4). Систематическое применение фосфорных и калийных удобрений повысило к этому времени

содержание подвижных форм фосфора и калия в почве до 140–157 и 152–170 мг/кг соответственно.

Анализы биомассы растений проводили согласно ГОСТам: содержание общего азота определяли по Кьельдалю (ГОСТ 13996.4-93), фосфора – ГОСТ 26657-97, калия – ГОСТ 30504097, магния – атомно-эмиссионным методом (ПНДФ 16.2:2.371.2011).

Агротехника – принятая в Московской обл. В качестве общего фона вносили гербициды, фунгициды, ретарданты. Подробная методика изложена в [10].

Статистические данные обрабатывали дисперсионным методом по программе Stat VIVA.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Метеорологические условия и изменения агрохимических свойств дерново-подзолистой почвы оказали влияние на накопление сухой фитомассы озимой пшеницы в фазе цветения растений (табл. 1).

Минимальная величина фитомассы сформировалась в контрольном варианте и внесении азотно-калийных удобрений особенно в 2021 г., когда сложились менее благоприятные метеорологические условия. Применение фосфорных удобрений повышало сухую биомассу при сильнокислой почве ( $pH_{KCl}$  4.0) в среднем за 3 года на 62%, в большей степени (на 70%) в благоприятные 2022 и 2023 гг. На известкованной почве, особенно при высокой дозе (23 т/га), когда почва стала слабокислой, эффективность фосфорных удобрений снижалась в связи с улучшением обеспеченности растений фосфором за счет известки, которая увеличивала сухую массу в 2 раза по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений. При внесении магниевых удобрений отмечено дальнейшее увеличение сухой биомассы озимой пшеницы. Их

эффективность была относительно высокой на известкованной почве при применении 23 т/га и слабокислой реакции среды – прибавка составляла 80 г/м<sup>2</sup>. Применение фосфорных удобрений с магниевыми при известковании высокой дозой вызвало увеличение содержания азота и фосфора, в большей мере – магния в сухой биомассе озимой пшеницы (табл. 2).

Уменьшение доступности магния в сильнокислой почве в варианте НК очевидно было связано с присутствием больших количеств ионов-антагонистов Н, Al, Mn, Fe и др. сопутствующих ионов сильнокислой почвы [7, 10, 11]. Условия минерального питания оказали существенное влияние на урожайность озимой пшеницы интенсивного сорта Московская 56 (табл. 3).

Внесение фосфорных удобрений в сильнокислую почву повысило урожайность в среднем на 65% при 27.5 ц/га на фоне азотно-калийных удобрений. На известкованной почве прибавки от фосфорных удобрений снижались, на фоне низкой дозы известки средняя прибавка урожайности составила 33, на фоне высокой – 19% при урожайности на фоне азотно-калийных удобрений 46.0 и 58.1 ц/га соответственно. Уменьшение прибавок от фосфорных удобрений на известкованной почве было обусловлено улучшением минерального питания, в том числе фосфорного, за счет самой известки, особенно большой дозы; средняя урожайность при этом удваивалась по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений. Наиболее эффективно влияло известкование в менее благоприятном 2021 г., когда урожайность зерна увеличивалась в 2.5 раза, что было отмечено также в работе [8].

Эффективность магниевых удобрений зависела от известкования. Наиболее высокий эффект от их применения получен на фоне высокой дозы известки 23.0 т/га, когда почва обладала слабокислой реакцией среды ( $pH_{KCl}$  5.4) – дополнительная существенная

**Таблица 1.** Сухая фитомасса растений озимой пшеницы в зависимости от применения удобрений и известкования, г/м<sup>2</sup> (фаза цветения)

Вариант	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее за 3 года
Без известкования ( $pH_{KCl}$ 4.0)				
Без удобрений	510	650	690	617
N120K90	530	656	686	624
N120P90K90	820	1120	1190	1010
N120P90K90 + Mg	842	1140	1200	1060
Известкование 11.5 т CaCO <sub>3</sub> /га ( $pH_{KCl}$ 4.7)				
N120K90	810	1100	1180	1030
N120P90K90	1100	1370	1430	1300
N120P90K90 + Mg	1180	1420	1480	1360
Известкование 23.0 т CaCO <sub>3</sub> /га ( $pH_{KCl}$ 5.4)				
N120K90	1150	1290	1390	1280
N120P90K90	1420	1530	1640	1540
N120P90K90 + Mg	1470	1680	1700	1620

**Таблица 2.** Содержание элементов питания в сухой биомассе озимой пшеницы (фаза цветения)

Вариант	N, %		P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %		K <sub>2</sub> O, %		MgO, мг/кг	
	1	2	1	2	1	2	1	2
Без известкования (рН <sub>KCl</sub> 4.0)								
Без удобрений	2.51	2.63	0.82	0.59	0.54	0.85	907	516
N120K90	2.56	2.70	0.68	0.57	0.46	0.98	780	481
N120P90K90	2.37	2.60	0.71	0.67	0.50	0.80	816	576
N120P90K90 + Mg	2.40	2.68	0.70	0.69	0.48	0.80	820	589
Известкование 11.5 т СаСО <sub>3</sub> /га (рН <sub>KCl</sub> 4.6)								
N120K90	2.44	2.65	0.67	0.62	0.47	0.90	832	553
N120P90K90	2.43	2.60	0.72	0.76	0.51	1.02	833	591
N120P90K90 + Mg	2.48	2.70	0.72	0.70	0.50	1.00	839	620
Известкование 23.0 т СаСО <sub>3</sub> /га (рН <sub>KCl</sub> 5.4)								
N120K90	2.83	2.90	0.74	0.69	0.61	1.18	903	569
N120P90K90	2.72	2.87	0.76	0.80	0.52	1.05	933	648
N120P90K90 + Mg	2.79	2.98	0.76	0.79	0.50	1.00	941	679

Примечание. В графе 1 – 2022, 2 – 2023 г.

**Таблица 3.** Влияние фосфорных и магниевых удобрений на урожайность озимой пшеницы в зависимости от известкования, ц/га

Вариант	2021 г.	2022 г.	2023 г.	Среднее за 3 года	Окупаемость NPK зерном, кг/кг
Без известкования (рН <sub>KCl</sub> 4.0)					
Без удобрений	18.3	25.5	31.8	25.2	–
N120K90	18.0	25.7	38.7	27.5	–
N120P90K90	34.7	44.9	56.4	45.3	6.7
N120P90K90 + Mg	37.0	47.4	61.4	48.6	7.8
Известкование 11.5 т СаСО <sub>3</sub> /га (рН <sub>KCl</sub> 4.6)					
N120K90	34.3	47.2	56.4	46.0	–
N120P90K90	46.9	63.5	73.0	61.1	12.0
N120P90K90 + Mg	51.9	67.0	79.2	66.0	13.6
Известкование 23.0 т СаСО <sub>3</sub> /га (рН <sub>KCl</sub> 5.4)					
N120K90	45.7	58.4	70.1	58.1	–
N120P90K90	56.0	71.6	79.9	69.2	14.7
N120P90K90 + Mg	61.8	76.8	87.4	75.3	16.7
HCP <sub>05</sub>	3.2	3.9	2.6	–	–

прибавка в данном случае составила в среднем 6.1 ц/га. Максимальная урожайность озимой пшеницы (75.3 ц/га в среднем) в наиболее благоприятном 2023 г. (87.4 ц/га) формировалась при применении полного минерального удобрения с использованием магниевых удобрений на известкованной почве со слабокислой реакцией почвенной среды. Окупаемость удобрений прибавкой зерна в данном случае повышалась в 2.5 раза и достигала 16.7 кг/кг. Урожайность озимой пшеницы определялась структурой ее урожая (табл. 4).

Число зерен в колосе изменялось в зависимости от варианта: с 19.4 до 31.7 шт. в среднем, в наиболее благоприятном 2023 г. – с 20.3 до 33.4 шт. Этот показатель структуры в среднем повышался на 60%

и достигал максимальной величины при совместном внесении фосфорных и магниевых удобрений на известкованной почве дозой 23 т СаСО<sub>3</sub>/га. Масса 1000 зерен находилась также в прямой зависимости от урожайности озимой пшеницы. При максимальной урожайности в варианте с применением всех изученных удобрений этот показатель увеличивался в среднем на 15%. Такая же закономерность действия удобрений также отмечена в отношении хозяйственного коэффициента урожайности (**Кхоз**), что свидетельствовало о положительном их влиянии в большей степени на основную часть урожая (зерно), чем на побочную (солома). Вынос элементов питания урожаем озимой пшеницы значительно повышался при внесении фосфорных удобрений, особенно в сочетании

**Таблица 4.** Элементы структуры урожая озимой пшеницы сорта Московская 56

Вариант	Число зерен в колосе, шт.		Масса 1000 зерен, г		K <sub>хоз</sub>
	2023 г.	среднее за 3 года	2023 г.	среднее за 3 года	
Без известкования (рН <sub>KCl</sub> 4.0)					
Без удобрений	20.3	19.4	49.3	43.0	0.46
N120K90	22.1	20.3	50.1	43.3	0.46
N120P90K90	29.5	26.8	49.2	44.9	0.47
N120P90K90 + Mg	30.0	27.1	49.8	45.3	0.48
Известкование 11.5 т СаСО <sub>3</sub> /га (рН <sub>KCl</sub> 4.6)					
N120K90	29.2	25.6	49.6	45.3	0.46
N120P90K90	30.4	28.3	49.7	46.3	0.48
N120P90K90 + Mg	32.3	29.4	49.9	46.6	0.49
Известкование 23.0 т СаСО <sub>3</sub> /га (рН <sub>KCl</sub> 5.4)					
N120K90	30.1	28.1	49.8	47.2	0.48
N120P90K90	32.1	30.3	50.5	48.2	0.49
N120P90K90 + Mg	33.4	31.2	52.1	49.1	0.50
HCP <sub>05</sub>	1.2	—	3.9	—	—

**Таблица 5.** Вынос элементов питания озимой пшеницей (зерно + солома) (среднее за 2021–2023 гг.), кг/га

Вариант	N	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	MgO
Без известкования (рН <sub>KCl</sub> 4.0)				
Без удобрений	56.0	20.9	44.2	7.6
N120K90	56.7	21.0	43.1	7.5
N120P90K90	110	39.4	75.3	13.1
N120P90K90 + Mg	117	43.9	81.6	14.6
Известкование 11.5 т СаСО <sub>3</sub> /га (рН <sub>KCl</sub> 4.6)				
N120K90	111	41.5	77.3	13.9
N120P90K90	161	58.9	103	18.4
N120P90K90 + Mg	171	66.1	113	19.9
Известкование 23.0 т СаСО <sub>3</sub> /га (рН <sub>KCl</sub> 5.4)				
N120K90	145	56.5	97.3	15.7
N120P90K90	191	70.3	125	20.7
N120P90K90 + Mg	204	77.1	135	22.6

с магниевыми удобрениями и известковании почвы высокой дозой мелиоранта (табл. 5).

По сравнению с фоном N120K90 потребление возросло: азота — в 3.5, фосфора — в 3.7, калия и магния — в 3 раза. Столь высокая обеспеченность растений азотом была обусловлена не только внесением минерального азота, но и биологическим при наличии в севообороте бобовой культуры (гороха) на зеленое удобрение. Баланс фосфора и магния был положительным даже при максимальном потреблении этих элементов растениями и составил 117 и 130% соответственно. В расчете на 1 т урожая озимой пшеницы вынос азота и фосфора при внесении удобрений несколько повышался и составил в варианте с применением полного удобрения с магниевыми на известкованной в дозе 23 т СаСО<sub>3</sub>/га почве 27.0 и 10.3 кг при выносе в контроле соответственно 22.4 и 8.5 кг.

Удельный вынос калия и магния при этом практически не изменялся.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в многолетнем полевом опыте на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве выявлено положительное влияние фосфорных удобрений в сочетании с магниевыми и известкованием на содержание в биомассе озимой пшеницы сорта Московская 56 азота, фосфора и магния в фазе цветения. Улучшение минерального питания растений на известкованной почве при слабокислой реакции среды (рН<sub>KCl</sub> 5.4) обеспечило максимальную урожайность (75.3 ц/га) по сравнению с 27 ц/га на фоне применения N120K90 на неизвесткованной почве. Также увеличилась окупаемость минеральных удобрений (вариант N120P90K90) в 2.5 раза. При улучшении

минерального питания за счет известкования прибавки урожайности от применения фосфорных удобрений на известкованной почве снижались по сравнению с прибавкой, полученной на сильнокислой не известкованной почве с 65 до 19%. Эффективность магниевых удобрений по мере снижения кислотности почвы повышалась и достигала 10% на слабокислой почве. При достижении максимальной урожайности озимой пшеницы вынос элементов питания увеличился: азота – в 3.5, фосфора – в 3.7, калия и магния – в 3 раза по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений и сильнокислой почвы.

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Милащенко Н.З., Шкуркин С.И., Чернова Л.С., Трушкин С.В. Агрохимические и агротехнические требования к системам зональных технологий производства продовольственного зерна пшеницы // Плодородие. 2022. № 4. С. 3–5.
2. Сандухадзе Б.И., Мамедов Р.З., Афанасьев Р.А., Коваленко А.А. Факторы урожайности озимой пшеницы в условиях Нечерноземья // Плодородие. 2021. № 3. С. 66–70.
3. Вильдфлуш И.Р. Оптимизация системы удобрения сельскохозяйственных культур при комплексном применении макро- и микроудобрений, регуляторов роста и бактериальных препаратов: рекоменд. Горки: БГСХА, 2017. 34 с.
4. Алиев А.М., Самойлов Л.Н., Цимбалист Н.И. Эффективность комплексного применения средств химизации в Нечерноземной зоне (итоги 55 лет исследований в длительном полевом опыте) // Агрохимия. 2016. № 2. С. 20–30.
5. Ваулина Г.И., Алиев А.М. Разработка эффективных блоков химизации в полевом севообороте на дерново-подзолистой суглинистой почве Центрального района Нечерноземной зоны Российской Федерации. Вып. 2. М.: ВНИИА, 2012. С. 68–87.
6. Аристархов А.Н. Оптимизация полиэлементного состава в агроэкосистемах России. Эколого-агрохимическая оценка состояния дефицита, резервов, способов и средств его устранения / Под ред. В.Г. Сычева. М.: ВНИИА, 2019. С. 201–245.
7. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб.: ЛНИИСХ, 2009. С. 90–118.
8. Шильников И.А., Сычев В.Г., Зеленов Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С. Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИА, 2008. 340 с.
9. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М., 1990. 218 с.
10. Бижан С.П. Влияние совместного применения фосфорных и магниевых удобрений на фоне азотно-калийных на урожайность, качество и вынос элементов питания яровым ячменём в зависимости от кислотности дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2023. № 6. С. 39–46.

## Effect of Phosphorus and Magnesium Fertilizers on Mineral Nutrition and Yield of Winter Wheat depending on Liming of Sod-Podzolic Soil

N. A. Kirpichnikov<sup>a</sup>, S. P. Bizhan<sup>a, #</sup>, V. V. Tribelgorn<sup>a</sup>

<sup>a</sup>*D.N. Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry, ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: kzuek@yandex.ru*

In long-term field experience on strongly acidic, poorly cultivated sod-podzolic soil, high efficiency of phosphorus fertilizers combined with magnesium and liming in the cultivation of winter wheat of the Moskovskaya 56 variety was revealed. Under these conditions, the content of nitrogen, phosphorus and magnesium in plants in the flowering phase increased. Improving the mineral nutrition of plants in this case provided the highest yield (75.3 c/ha), exceeding the background level of nitrogen-potassium fertilizers by 2.7 times, the payback of mineral fertilizers (NPK) increased by 2.5 times, reaching 16.7 kg/kg. The use of phosphorus fertilizers on highly acidic soil increased yields by 65% at 27.5 c/ha against the background of nitrogen-potassium fertilizers. On calcified soil with a slightly acidic reaction of the medium, the yield from the use of phosphorus fertilizers increased by 19% compared to the background of 58.1 kg/ha. Yield increases when using magnesium fertilizers against the background of full fertilizer (NPK) decreased as soil acidity decreased and were significant: on medium acidic soil – 4.9 and slightly acidic – 6.1 c/ha. At the maximum yield of winter wheat, due to the use of phosphorus and magnesium fertilizers and a decrease in the acidity of sod-podzolic soil, the removal of nutrients by the winter wheat harvest increased: nitrogen – by 3.5, phosphorus – 3.7, potassium and magnesium – 3 times.

**Keywords:** sod-podzolic soil, agrochemical properties, phosphorus and magnesium fertilizers, winter wheat, yield.