

УДК 631.445.24.:631.85:631.821.1

## ПРИЕМЫ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПРИ ВОЗДЕЛЫВАНИИ ЗЕРНОВЫХ КУЛЬТУР НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

© 2022 г. Н. А. Кирпичников<sup>1,\*</sup>, С. П. Бижан<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова  
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

\*E-mail: kzuek@yandex.ru

Поступила в редакцию 26.01.2022 г.

После доработки 28.03.2022 г.

Принята к публикации 15.04.2022 г.

В длительном полевом опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве показана эффективность приемов применения цинковых, магниевых удобрений, микробного препарата бисолбифит в сочетании с фосфорными удобрениями, а также фосфоритной муки в зависимости от известкования при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя. Установлено положительное влияние приемов на окупаемость удобрений, потребление и коэффициент использования фосфора растениями из удобрений при известковании.

*Ключевые слова:* озимая пшеница, яровой ячмень, урожайность, формы удобрений, фосфор, известкование, дерново-подзолистая почва.

**DOI:** 10.31857/S0002188122070079

### ВВЕДЕНИЕ

В условиях резко отрицательного баланса фосфора и наличия значительных площадей слабоокультуренных дерново-подзолистых почв в настоящее время важно эффективно использовать остаточные и внесенные с удобрениями фосфаты. Оптимальное питание растений фосфором в современных интенсивных технологиях возделывания зерновых культур можно обеспечить не только применением водорастворимых фосфорных удобрений, но и широким использованием фосфоритной муки, причем месторождения фосфоритов находятся почти в каждом регионе России. Результаты наших и других исследований в полевых опытах показали, что фосфоритная мука по эффективности не уступает суперфосфату не только на кислых дерново-подзолистых почвах, но и на периодически известкованных, когда достигаются оптимальные для растений кислотность и другие физико-химические свойства почвы [1–3].

Для обеспечения сбалансированного питания растений большое значение имеют магниевые удобрения и микроэлементы [4–8], потребность в которых при формировании высокой урожайно-

сти возрастает. Необходимость применения магниевых и цинковых удобрений связана прежде всего с увеличением площадей почв с низким содержанием подвижного магния и цинка в дерново-подзолистых почвах [7]. Причиной увеличения площадей таких почв является усиление процессов выщелачивания элементов из пахотного слоя при отсутствии известкования и систематическом применении физиологически кислых минеральных удобрений [9, 10].

Одним из факторов, повышающих эффективность минеральных удобрений, является также применение биопрепаратов [11, 12]. В последние годы в научных исследованиях используют микробный препарат бисолбифит, который применяют для модификации различных видов минеральных удобрений путем нанесения его на гранулы, что имеет технологические преимущества [13].

Однако указанные приемы в зависимости от применения удобрений при известковании изучены недостаточно, тем более при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя интенсивных сортов в условиях длительного полевого опыта на дерново-подзолистых суглинистых почвах.

Цель работы – изучение приемов, повышающих эффективность применения фосфорных удобрений при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя сортов интенсивного типа в условиях длительного полевого опыта на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве.

## 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., Шеданцевский участок).

Исходная почва была слабоокультуренной:  $pH_{KCl}$  3.9–4.2, гидролитическая кислотность (по Каппену) – 4.9–5.2 мг-экв/100 г, сумма поглощенных оснований (по Каппену–Гильковицу) – 7.5–8.2 мг-экв/100 г, степень насыщенности основаниями – 57–63%, содержание гумуса (по Тюрину) – 1.5%, содержание подвижных форм фосфора и калия в почве (по Кирсанову) – 30–70 и 112–115 мг/кг соответственно, подвижный алюминий (по Соколову) – 40 мг/кг, подвижный цинк (по Крупскому и Александровой) – 0.60–0.90 мг/кг.

Изучение эффективности удобрений проводили в севообороте со следующим чередованием культур: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Московская 39 – яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта НУР с подсевом клевера (*Trifolium pratense* L.) – клевер 2-х лет пользования (в последние годы в 11-й и 12-й ротациях – один год пользования). Эффективность фосфорных удобрений в зависимости от известкования изучали на фонах извести 1.5 г.к. (по 0.5 г.к. в первых 3-х ротациях, в сумме 11.5 т/га) и 2.5 г.к. (по 1.0 г.к. в 1-й и 3-й ротациях и 0.5 г.к. в 8-й ротации, в сумме 17 т/га), а также на фоне без извести (НК). В качестве известкового удобрения использовали известняковую муку (95%  $CaCO_3$ ).

Минеральные удобрения применяли в форме аммиачной селитры (34.4% N), двойного суперфосфата (42%  $P_2O_5$ ), аммофоса (12% N, 52%  $P_2O_5$ ) и хлористого калия (60%  $K_2O$ ). Цинковые удобрения использовали в форме сернокислого цинка в дозе 23 кг/га (5.0 кг д.в. ZnO/га). Магниевого удобрения применяли в форме сернокислого магния в дозе 30 кг MgO/га. Микробный препарат бисолбифит применяли путем нанесения на гранулы из расчета 5 кг/т аммофоса. Все удобрения вносили под предпосевную культивацию. Повторность опыта трехкратная, площадь делянки 100 м<sup>2</sup>.

Анализы растительных образцов проводили согласно ГОСТам: содержание общего азота в зерне и соломе – по Кьельдалю 9ГОСТ 13996.4-93), фосфора – ГОСТ 26657-97, калия – ГОСТ 30504-97.

В качестве общего фона вносили гербициды, фунгициды и ретарданты нового поколения. Агротехника – принятая в Московской обл. Уборку урожая проводили комбайном “Сампо” поделочно с 28 м<sup>2</sup>. При статистической обработке результатов исследования использовали дисперсионный анализ.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В результате периодического известкования и систематического внесения минеральных удобрений за период проведения полевого опыта (1966–2015 гг.) изменились агрохимические свойства дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (табл. 1). При систематическом внесении физиологически кислых азотных и калийных удобрений (фон НК) достоверно снижалась степень насыщенности основаниями, несколько уменьшалась реакция почвенной среды. Сильно повысилось (почти в 3 раза) по сравнению с вариантом без удобрений содержание подвижного алюминия в почве и достигло в 11-й ротации 130 мг/кг почвы.

Периодическое известкование по 2.5  $H_T$  (суммарно) значительно улучшало физико-химические свойства, почва из группы сильнокислых перешла в группу слабокислых. Известкование значительно снизило содержание подвижного алюминия, даже при дозе 1.5  $H_T$  (в сумме) этот показатель уменьшился в 4 раза по сравнению с фоном НК. Содержание подвижного фосфора в почве существенно повысилось (с 30.1 до 105 мг/кг) в результате многолетнего применения фосфорных удобрений, и оно не отличалось в вариантах с внесением фосфоритной муки и суперфосфата.

Изменение агрохимических свойств почвы сказалось на эффективности фосфорных удобрений (табл. 2). Минимальная урожайность зерна формировалась в контроле без удобрений. Систематическое применение азотно-калийных удобрений (фон НК) в форме аммиачной селитры и хлористого калия на приводило к дальнейшему повышению урожайности, что было связано с существенным повышением содержания подвижного алюминия в почве, а также ухудшению других ее свойств. Применение фосфорных удобрений на фоне азотно-калийных существенно повышало урожайность. При сочетании фосфорных удобрений с известкованием, особенно боль-

**Таблица 1.** Влияние длительного применения удобрений и известкования на агрохимические показатели дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почвы (2015 г., 11-я ротация)

| Вариант                                   | рН <sub>KCl</sub> | <i>S</i>     | <i>H<sub>r</sub></i> | Содержание подвижных форм, мг/кг |                  |     |
|---|-------------------|--------------|----------------------|----------------------------------|------------------|-----|
|   |                   | мг-экв/100 г |                      | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>    | K <sub>2</sub> O | Al  |
| Контроль (без удобрений)                  | 4.0               | 6.8          | 5.3                  | 30                               | 105              | 46  |
| NK  | 3.8               | 6.7          | 6.8                  | 28                               | 171              | 130 |
| NK + P                                    | 4.0               | 6.8          | 6.4                  | 102                              | 142              | 103 |
| NK + известь 1.5 <i>H<sub>r</sub></i>     | 4.7               | 7.7          | 5.0                  | 31                               | 135              | 35  |
| NK + известь 1.5 <i>H<sub>r</sub></i> + P | 4.8               | 7.8          | 4.1                  | 105                              | 128              | 32  |
| NK + известь 2.5 <i>H<sub>r</sub></i>     | 5.3               | 9.4          | 3.6                  | 32                               | 125              | 14  |
| NK + известь 2.5 <i>H<sub>r</sub></i> + P | 5.5               | 9.6          | 3.5                  | 105                              | 119              | 10  |
| <i>HCP</i> <sub>05</sub>                  | 0.3               | 0.9          | 1.1                  | 13                               | 15               | 19  |

шой дозой (2.5 *H<sub>r</sub>*), обеспечивался больший эффект, чем при внесении одних фосфорных удобрений. Формирование максимальной урожайности озимой пшеницы (62.4–64.4 ц/га) и ярового ячменя (48.7–49.7 ц/га) в данном случае было обусловлено существенным улучшением агрохимических свойств почвы, когда величина рН<sub>KCl</sub> составила 5.3 ед., степень насыщенности основаниями – 80%. Фосфоритная мука по эффективности не уступала суперфосфату не только на сильнокислой почве, но и при этих физико-химических свойствах почвы. Применение фосфоритной муки, как и суперфосфата, обеспечивало в благоприятные годы урожайность озимой пшеницы 70–75 ц/га, ярового ячменя – 50–55 ц/га с высокой окупаемостью удобрений, что свидетельствовало о возможности использования этой формы фосфорного удобрения в интенсивных технологиях возделывания озимой пшеницы и ярового ячменя. Обеспеченность растений фосфором (вынос) при внесении фосфоритной муки, как и суперфосфата, на известкованной почве большой дозой (по 2.5 *H<sub>r</sub>*) значительно (почти в 3 раза) увеличивалась, фосфор из удобрений использовался растениями также больше и в равной степени.

Важным приемом повышения эффективности удобрений, как показали результаты исследования, является применение цинка. Содержание подвижного цинка в почве длительного опыта было низким (0.6–0.9 мг/кг). Действие цинковых удобрений, как и фосфорных, на формирование урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя зависело от известкования (табл. 3). На сильнокислой неизвесткованной почве не обеспечивались устойчивые достоверные прибавки урожая зерна от применения цинковых удобрений. Существенное повышение урожайности озимой пшеницы (на 5.8–6.7 ц/га) и ярового ячменя (на

4.2–5.0 ц/га) получено при внесении цинка в известкованную почву, особенно большой дозой (по 2.5 *H<sub>r</sub>*). При сочетании фосфорных удобрений с цинком в данном случае формировалась максимальная урожайность озимой пшеницы (68.6 ц/га), ярового ячменя (53.0 ц/га), что превышало урожайность в 2.8 и 2.1 раза, полученную на общем фоне NK. В соответствии с этим значительно увеличилась и окупаемость удобрений, за счет применения цинка на известкованной почве она увеличилась на 17 и 25%. При сочетании фосфорных удобрений с цинком на известкованной почве по 2.5 *H<sub>r</sub>* вынос фосфора растениями озимой пшеницы составил 72 и ярового ячменя – 68.3 кг/га, что превышало этот показатель в варианте азотно-калийных удобрений в 3.5 и 2.4 раза соответственно. Значительно увеличивался при этом и коэффициент использования фосфора растениями, который достигал 50.6 и 66.5%.

Ранее считали, что магниевые удобрения целесообразно применять лишь на легких по гранулометрическому составу почвах (песчаных и супесчаных). В настоящее время появились новые интенсивные сорта сельскохозяйственных культур, изменились технологии их возделывания. Потребность растений в магии при этом повысилась, что показано в нашем опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве (табл. 4). На неизвесткованной сильнокислой почве, когда формировалась невысокая урожайность ярового ячменя (25.7 ц/га), внесение магниевых удобрений не дало положительного результата. На известкованной почве, особенно большой дозой, при урожайности 39.4 ц/га эффективность применения магии значительно повышалась – прибавка урожая составляла ≈13% по сравнению с фоном N90P60K90, на 31% увеличивалась окупаемость удобрений. При сочетании фосфорных и

**Таблица 2.** Эффективность фосфоритной муки при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя на периодически известкованной дерново-подзолистой почве

| Вариант   | Урожайность | Прибавка от P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Окупаемость                | Вынос P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг/га | КИФ, % |
|---|-------------|---|----------------------------|---|--------|
|   | ц/га        |   | НРК прибавкой зерна, кг/кг |   |        |
| Озимая пшеница                                      |             |   |                            |   |        |
| pH <sub>KCl</sub> 4.0 (без извести)                 |             |   |                            |   |        |
| Без удобрений                                       | 22.3        | —   | —                          | 20.1  | —      |
| N120K90   | 23.5        | —   | —                          | 21.7  | —      |
| N120K90 + P <sub>ф</sub> 90                         | 39.0        | 15.5                                      | 5.6                        | 37.6  | 17.7   |
| N120K90 + P <sub>с</sub> 90                         | 41.2        | 17.7                                      | 6.0                        | 39.9  | 20.0   |
| pH <sub>KCl</sub> 4.7 (известь 1.5 H <sub>г</sub> ) |             |   |                            |   |        |
| N120K90   | 36.5        | —   | —                          | 35.8  | —      |
| N120K90 + P <sub>ф</sub> 90                         | 50.6        | 14.1                                      | 9.4                        | 49.4  | 31.0   |
| N120K90 + P <sub>с</sub> 90                         | 51.8        | 15.3                                      | 9.8                        | 51.0  | 32.5   |
| pH <sub>KCl</sub> 5.5 (известь 2.5 H <sub>г</sub> ) |             |   |                            |   |        |
| N120K90   | 48.2        | —   | —                          | 49.0  | —      |
| N120K90 + P <sub>ф</sub> 90                         | 62.4        | 14.2                                      | 13.3                       | 63.1  | 46.0   |
| N120K90 + P <sub>с</sub> 90                         | 64.4        | 16.2                                      | 14.0                       | 63.9  | 47.0   |
| HCP <sub>05</sub>                                   | 3.9         |   |                            |   |        |
| Яровой ячмень                                       |             |   |                            |   |        |
| pH <sub>KCl</sub> 4.0 (без извести)                 |             |   |                            |   |        |
| Без удобрений                                       | 15.9        | —   | —                          | 16.2  | —      |
| N90K90  | 16.8        | —   | —                          | 17.6  | —      |
| N90K90 + P <sub>ф</sub> 60                          | 31.9        | 15.1                                      | 6.6                        | 33.8  | 25.9   |
| N90K90 + P <sub>с</sub> 60                          | 34.0        | 17.2                                      | 7.5                        | 35.4  | 29.4   |
| pH <sub>KCl</sub> 4.7 (известь 1.5 H <sub>г</sub> ) |             |   |                            |   |        |
| N90K90  | 25.6        | —   | —                          | 27.2  | —      |
| N90K90 + P <sub>ф</sub> 60                          | 44.1        | 18.5                                      | 11.8                       | 46.4  | 48.0   |
| N90K90 + P <sub>с</sub> 60                          | 45.9        | 20.3                                      | 12.5                       | 47.3  | 49.5   |
| pH <sub>KCl</sub> 5.5 (известь 2.5 H <sub>г</sub> ) |             |   |                            |   |        |
| N90K90  | 35.8        | —   | —                          | 38.4  | —      |
| N90K90 + P <sub>ф</sub> 60                          | 48.7        | 12.9                                      | 13.7                       | 47.2  | 49.5   |
| N90K90 + P <sub>с</sub> 60                          | 49.7        | 13.9                                      | 14.1                       | 48.7  | 51.8   |
| HCP <sub>05</sub>                                   | 3.1         |   |                            |   |        |

Примечание. КИФ – коэффициент использования фосфора. То же в табл. 3–5.

магниевого удобрения на известкованной почве дозой 2.5 H<sub>г</sub> формировалась наибольшая урожайность ярового ячменя (44.3 ц/га), что превышало уровень урожайности почти в 3 раза, полученную на фоне N90K90, в связи с этим окупаемость удобрений значительно повышалась (в 2.2 раза).

Применение фосфорных удобрений на известкованной почве увеличивало потребление (вы-

нос) фосфора растениями в 3.5 раза, с внесением магния – в 3.9 раза по сравнению с фоном азотно-калийных удобрений. Улучшение обеспеченности растений ярового ячменя фосфором при комплексном применении удобрений способствовало повышению коэффициента использования фосфора (КИФ). При известковании по 1.5 H<sub>г</sub> этот показатель увеличивался в 2.1 раза, по 2.5 H<sub>г</sub> –

**Таблица 3.** Эффективность фосфорных удобрений в зависимости от известкования с использованием цинка при возделывании озимой пшеницы и ярового ячменя на дерново-подзолистой почве (12-я ротация)

| Вариант   | Урожайность | Прибавка<br>от P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Окупаемость<br>НРК прибавкой<br>зерна, кг/кг | Вынос P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ,<br>кг/га | КИФ, % |
|---|-------------|--|--|--|--------|
|   | ц/га        |  |  |  |        |
| Озимая пшеница                                      |             |  |  |  |        |
| pH <sub>KCl</sub> 4.0 (без извести)                 |             |  |  |  |        |
| Без удобрений                                       | 22.9        | —  | —  | 18.1   | —      |
| N120K90   | 24.7        | —  | —  | 20.2   | —      |
| N120P90K90  | 37.1        | —  | 4.7  | 32.4   | 13.6   |
| N120P90K90 + Zn                                     | 40.0        | 2.9  | 5.7  | 37.2   | 18.8   |
| pH <sub>KCl</sub> 4.7 (известь 1.5 H <sub>г</sub> ) |             |  |  |  |        |
| N120K90   | 32.7        | —  | —  | 30.1   | —      |
| N120P90K90  | 45.6        | —  | 7.6  | 44.7   | 25.2   |
| N120P90K90 + Zn                                     | 51.4        | 5.8  | 9.5  | 49.9   | 33.0   |
| pH <sub>KCl</sub> 5.5 (известь 2.5 H <sub>г</sub> ) |             |  |  |  |        |
| N120K90   | 48.5        | —  | —  | 48.1   | —      |
| N120P90K90  | 61.9        | —  | 13.0   | 64.9   | 49.7   |
| N120P90K90 + Zn                                     | 68.6        | 6.7  | 15.2   | 72.0   | 55.6   |
| HCP <sub>05</sub>                                   | 2.6         |  |  |  |        |
| Яровой ячмень                                       |             |  |  |  |        |
| pH <sub>KCl</sub> 4.0 (без извести)                 |             |  |  |  |        |
| Без удобрений                                       | 24.0        | —  | —  | 29.1   | —      |
| N90K90  | 25.4        | —  | —  | 28.4   | —      |
| N90P60K90   | 36.5        | —  | 5.5  | 44.5   | 26.3   |
| N90P60K90 + Zn                                      | 39.3        | 2.8  | 6.4  | 47.6   | 31.5   |
| pH <sub>KCl</sub> 4.7 (известь 1.5 H <sub>г</sub> ) |             |  |  |  |        |
| N90K90  | 34.2        | —  | —  | 42.7   | —      |
| N90P60K90   | 44.6        | —  | 8.6  | 52.7   | 39.0   |
| N90P60K90 + Zn                                      | 48.8        | 4.2  | 10.4   | 61.6   | 50.8   |
| pH <sub>KCl</sub> 5.5 (известь 2.5 H <sub>г</sub> ) |             |  |  |  |        |
| N90K90  | 43.2        | —  | —  | 53.8   | —      |
| N90P60K90   | 48.0        | —  | 10.0   | 62.3   | 56.0   |
| N90P60K90 + Zn                                      | 53.0        | 5.0  | 12.1   | 68.3   | 66.5   |
| HCP <sub>05</sub>                                   | 2.9         |  |  |  |        |

Примечание. Фосфорные удобрения применяли в форме аммофоса. То же в табл. 4, 5.

в 2.9 раза, с использованием магниевых удобрений — в 2.5 и 3.3 раза соответственно.

С целью повышения эффективности фосфорных удобрений в длительном полевом опыте использовали микробный препарат бисолбифит. По сравнению с другими биопрепаратами, которые смешивают с семенами, бисолбифит имеет технологические преимущества — он наносится на гранулы удобрений. При изучении эффектив-

ности этого препарата в посевах озимой пшеницы выявлена такая же ее зависимость от известкования (табл. 5).

На сильнокислой неизвесткованной почве прибавки урожая озимой пшеницы при внесении модифицированных бисолбифитом удобрений составили 9%, в некоторые годы они были не достоверными. На известкованной почве урожайность озимой пшеницы в вариантах с применени-

**Таблица 4.** Эффективность фосфорных удобрений в зависимости от известкования с использованием магния при возделывании ярового ячменя на дерново-подзолистой почве (12-я ротация)

| Вариант   | Урожайность | Прибавка от P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Окупаемость<br>НРК прибавкой<br>зерна, кг/кг | Вынос P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> ,<br>кг/га | КИФ, % |
|---|-------------|---|--|--|--------|
|   | ц/га        |   |  |  |        |
| pH <sub>KCl</sub> 4.0 (без извести)                 |             |   |  |  |        |
| Без удобрений                                       | 14.8        | —   | —  | 14.4   | —      |
| N90K90  | 15.5        | —   | —  | 14.1   | —      |
| N90P60K90   | 25.7        | —   | 4.3  | 26.4   | 20.0   |
| N90P60K90 + Mg                                      | 27.2        | 1.5                                       | 4.9  | 27.9   | 23.0   |
| pH <sub>KCl</sub> 4.7 (известь 1.5 H <sub>r</sub> ) |             |   |  |  |        |
| N90K90  | 25.9        | —   | —  | 28.5   | —      |
| N90P60K90   | 34.1        | —   | 7.8  | 40.3   | 43.3   |
| N90P60K90 + Mg                                      | 38.0        | 3.9                                       | 9.4  | 44.3   | 50.3   |
| pH <sub>KCl</sub> 5.5 (известь 2.5 H <sub>r</sub> ) |             |   |  |  |        |
| N90K90  | 33.9        | —   | —  | 42.3   | —      |
| N90P60K90   | 39.4        | —   | 9.9  | 50.0   | 59.1   |
| N90P60K90 + Mg                                      | 44.3        | 4.9                                       | 13.0   | 54.9   | 68.0   |
| HCP <sub>05</sub>                                   | 2.6         |   |  |  |        |

**Таблица 5.** Эффективность фосфорных удобрений в зависимости от известкования с использованием микробного препарата бисолбифит (Бф) при возделывании озимой пшеницы на дерново-подзолистой почве (12-я ротация)

| Вариант   | Урожайность | Прибавка от P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> | Окупаемость<br>НРК прибавкой<br>зерна, кг/кг | Вынос P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , кг/га | КИФ, % |
|---|-------------|---|--|---|--------|
|   | ц/га        |   |  |   |        |
| pH <sub>KCl</sub> 4.0 (без извести)                 |             |   |  |   |        |
| Без удобрений                                       | 21.7        | —   | —  | 16.1  | —      |
| N90K90  | 19.7        | —   | —  | 17.3  | —      |
| N90P60K90   | 33.5        | —   | 4.9  | 31.2  | 23.0   |
| N90P60K90 + Бф                                      | 36.7        | 3.2                                       | 6.2  | 33.8  | 27.5   |
| pH <sub>KCl</sub> 4.7 (известь 1.5 H <sub>r</sub> ) |             |   |  |   |        |
| N90K90  | 30.6        | —   | —  | 28.5  | —      |
| N90P60K90   | 42.8        | —   | 8.1  | 39.4  | 36.9   |
| N90P60K90 + Бф                                      | 48.3        | 5.5                                       | 11.0   | 45.0  | 46.1   |
| pH <sub>KCl</sub> 5.5 (известь 2.5 H <sub>r</sub> ) |             |   |  |   |        |
| N90K90  | 44.5        | —   | —  | 40.8  | —      |
| N90P60K90   | 55.7        | —   | 14.0   | 52.0  | 57.9   |
| N90P60K90 + Бф                                      | 61.5        | 5.8                                       | 16.2   | 60.2  | 71.5   |
| HCP <sub>05</sub>                                   | 3.0         |   |  |   |        |

ем бисолбифита существенно повышалась – прибавки урожая достигали 13 и 14% в зависимости от дозы извести. При сочетании фосфорных удобрений с препаратом бисолбифит на известкованной почве дозой по 2.5 H<sub>r</sub> получена максимальная урожайность озимой пшеницы (61.5 ц/га),

что было больше в 3.2 раза урожайности, полученной на фоне азотно-калийных удобрений. За счет известкования и применения биопрепарата окупаемость фосфорных удобрений прибавкой урожая увеличивалась с 4.9 до 16.2 кг/кг. Значительно (в 3.5 раза) при этом возрастало потребление

ние (вынос) фосфора растениями, коэффициент использования фосфора достигал 71.5%, в то время как на известкованной почве он составлял 23%.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в длительном полевом опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве разработаны приемы, повышающие эффективность применения фосфорных удобрений при возделывании озимой пшеницы сорта Московская 56 и ярового ячменя сорта НУР.

Приемы применения цинковых, магниевых удобрений, микробного препарата бисолбифит существенно повышали эффективность фосфорных удобрений на известкованной почве при слабобокислой реакции почвенной среды и степени насыщенности основаниями 80–82%. При их сочетании с фосфорными удобрениями на известкованной почве формировалась максимальная урожайность озимой пшеницы 61–68 ц/га, ярового ячменя – 44–53 ц/га, что превышало в 2.7–3.0 раза урожайность, полученную на известкованной почве фона НК. Использованные в опыте приемы в сочетании с известкованием повышали коэффициент использования фосфора растениями озимой пшеницы в 2.7–4.0 раза, ярового ячменя – в 2.0–3.4 раза. В известкованной почве фосфоритная мука так же была эффективна, как и суперфосфат.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Войтович Н.В., Сушеница Б.А., Капранов В.Н.* Фосфориты России и ближнего зарубежья. М.: ВНИИА, 2005. 448 с.
2. *Алиев Ш.А., Дышко В.Н., Сушеница Б.А.* Использование местных фосфоритов и природных сорбентов для повышения продуктивности земледелия. М.: ВНИИА, 2004. 248 с.

3. *Кирпичников Н.А., Шильников И.А.* Действие фосфоритной муки при периодическом известковании дерново-подзолистой почвы // Результаты длительных исследований в системе Географической сети опытов с удобрениями Российской Федерации. М.: ВНИИА, 2011. С. 37–51.
4. *Kiss A.S.* Magnesium trągyazas magnesium a biologia-ban // Budapest: Mezgazdasagi Kiado, 1983. 159 p.
5. *Кулаковская Т.Н.* Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М., 1990. 218 с.
6. Методические рекомендации по применению сульфата магния в сельскохозяйственном производстве. М.: ВНИИ агрохимии, 2017. 27 с.
7. *Аристархов А.Н.* Оптимизация полиэлементного состава в агроэкосистемах России, эколого-агрохимическая оценка состояния дефицита, резервов, способов и средств его устранения / Под ред. Сычева В.Г. М.: ВНИИА, 2009. 832 с.
8. *Кук Д.У.* Факторы, лимитирующие урожай, и их взаимодействие в системах земледелия // Вестн. сел.-хоз. науки. – 1987. № 2. С. 124–130.
9. *Небольсин А.Н., Небольсина З.П.* Теоретические основы известкования почв. СПб.: ЛНИИСХ, 2005. С. 90–118.
10. *Шильников И.А., Сычев В.П., Зеленев Н.А., Аканова Н.И., Федотова Л.С.* Известкование как фактор урожайности и почвенного плодородия. М.: ВНИИ агрохимии, 2008. 340 с.
11. *Тихонович И.А., Кожемяков Л.Н., Чеботарь В.К.* Биопрепараты в сельском хозяйстве (методология и практика применения микроорганизмов в растениеводстве и кормопроизводстве). М.: РАСХН, 2005. 154 с.
12. *Петров Б.В., Чеботарь В.К.* Микробиологические препараты в практическом растениеводстве // Рынок АПК. 2009. № 7. С. 16–18.
13. *Завалин А.А., Чернова Л.С., Гаврилова А.Ю., Чеботарь В.К.* Влияние минеральных удобрений, биомодифицированных микробным препаратом бисолбифит на урожай ярового ячменя // Агрохимия. 2015. № 4. С. 21–33.

## Methods of Increasing the Efficiency of Phosphorus Fertilizers Depending on Liming when Cultivating Grain Crops on Sod-Podzolic Soil

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

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

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

In a long-term field experiment on sod-podzolic heavy loamy soil, the effectiveness of the methods of using zinc, magnesium fertilizers, the microbial preparation bisolbifit in combination with phosphorus fertilizers, as well as phosphorous flour, depending on liming during the cultivation of winter wheat and spring barley, has been shown. The positive effect of the methods on the payback of fertilizers, consumption and utilization of phosphorus by plants from fertilizers during liming has been established.

*Key words:* winter wheat, spring barley, yield, forms of fertilizers, phosphorus, liming, sod-podzolic soil.