

УСИЛЕНИЕ ДЕЙСТВИЯ ФОСФОРНЫХ УДОБРЕНИЙ С УЧЕТОМ ИЗВЕСТКОВАНИЯ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ ОЗИМОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ПОЧВЕ

© 2024 г. С. П. Бижан

Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова

127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия

E-mail: k3uek@yandex.ru

В многолетнем полевом опыте на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве выявлена существенная отдача от применения цинковых, медных, магниевых удобрений, микробного препарата Бисолбифит совместно с фосфорными удобрениями в связи с известкованием в посевах озимой пшеницы. Отмечено благоприятное воздействие изученных приемов на качество зерна, окупаемость удобрений, потребление и коэффициент использования фосфора растениями. На сильнокислой неизвесткованной почве с высоким содержанием мобильного алюминия (около 130 мг/кг), вызванного систематическим внесением физиологически кислых калия хлористого и селитры аммиачной, фосфорные удобрения (в среднем за все годы исследования с 2017 по 2023 гг.) обеспечивали прирост урожайности озимой пшеницы на 69% на произвесткованной дозой 11.5 т извести/га среднекислой почве в 2.2 раза, на слабокислой (19.0 т извести/га) – в 2.7 раза, совместно с применением микроэлементов и Бисолбифита – в 2.4 и 2.9 раза от среднего уровня фона азотно-калийных удобрений (2.38 т/га). При этом увеличились окупаемость фосфорных удобрений зерном озимой пшеницы на слабокислой почве от внесения микроудобрений и бисолбифита в 2.7 раза (до 15.7 кг/кг), содержание белка в зерне – на 1.3%, вынос фосфора – в 3.8 раза (до 70.7 кг/га), использование растениями озимой пшеницы фосфора – в 2.7 раза.

Ключевые слова: озимая пшеница, известкование, фосфорные удобрения, дерново-подзолистая почва, урожайность, окупаемость зерном.

DOI: 10.31857/S0002188124120036, **EDN:** VWJOWO

ВВЕДЕНИЕ

В связи с дефицитным балансом фосфора на слабоокультуренных дерново-подзолистых почвах, площадь которых значительна, возникает неотложная потребность с большей результативностью использовать остаточные и внесенные с удобрениями фосфаты, что особенно актуально при применении интенсивных технологий. Периодическое известкование кислых дерново-подзолистых почв, проводимое с целью достижения наиболее приемлемых для растений характеристик почвенной кислотности и других агрохимических показателей, способствует более полному усвоению растениями фосфора [1–3]. Для уравновешенного соотношения почвенных элементов питания в условиях формирования высокой продуктивности растений важнейшее значение приобретают микроэлементы и магниевые удобрения [4–8]. Необходимость использования магниевых, цинковых и медных удобрений обусловлена в первую очередь возрастанием площадей пахотных угодий с дефицитным содержанием мобильных форм

магния, цинка и меди из-за усиливающегося их вымывания при пролонгированном внесении закисляющих форм минеральных, удобрений, в отсутствие известкования [7, 9, 10]. Применение биопрепарата для модификации минеральных удобрений такого как Бисолбифит, с нанесением его на гранулы также используют как один из действенных факторов в исследованиях, посвященных повышению отдачи от применения минеральных удобрений, что обладает рядом технологических достоинств [11–13].

Между тем отмеченные агроприемы повышения результативности применения фосфорных удобрений вместе с известкованием исследованы в недостаточной степени, тем более в условиях длительного полевого опыта на дерново-подзолистых суглинистых почвах при возделывании озимой пшеницы сортов интенсивного типа. Цель работы – исследование средств, усиливающих эффект от применения фосфорных удобрений, при выращивании озимой пшеницы интенсивных сортов в длительном полевом опыте на слабоокультуренной дерново-подзолистой почве.

МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Объект исследования – длительный полевой опыт СШ-27, основанный в 1966 г. на дерново-подзолистой тяжелосуглинистой почве Центральной опытной станции ВНИИА (Московская обл., Шебанцевский участок).

Первичные характеристики почвы (слабая оккультуренность): содержание гумуса – 1.5%, pH_{KCl} 3.9–4.2 ед., степень насыщенности основаниями – 57–63%, 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), содержание подвижных форм фосфора и калия (по Кирсанову) в почве – 30–70 и 112–115 мг/кг соответственно, подвижного алюминия (по Соколову) – 45–60 мг/кг.

Чередование культур в полевом севообороте: озимая пшеница (*Triticum aestivum* L.) сорта Московская 56–яровой ячмень (*Hordeum vulgare* L.) сорта НУР с подсевом клевера (*Trifolium pratense* L.)–клевер 2-х лет пользования (в последние годы (11- и 12-я ротации) – один год пользования).

Удобрения применяли перед посевом озимой пшеницы под культивацию в виде N_{aa} , P_{cd} (в 12-й ротации – в форме АФ), K_x , магниевых – в форме сернокислого магния, цинковых – в форме сернокислого цинка, медных – в форме сернокислой меди (в дозах по 30.0 кг д.в./га), Бисолбифит – нанесением гранулы аммофоса (в дозе 5 кг/га).

При перемежающемся известковании дозами 11.5 и 23 т извести/га (за весь период) почва в 12-й ротации была среднекислой (pH_{KCl} 4.7 ед.) и слабокислой

(pH_{KCl} 5.4 ед.). Регулярное применение фосфорных и калийных удобрений повысило к данному этапу содержание мобильных форм фосфора и калия в почве до 140–157 и 152–170 мг/кг соответственно.

Анализы растений проводили согласно ГОСТам. Содержание общего азота определяли по Кельдашю (ГОСТ 13996.4-93), фосфора – по ГОСТ 26657-97, калия – по ГОСТ 30504-97, сумму поглощенных оснований (по Каппену) – по ГОСТ Р 50682-94, обменную кислотность – по ГОСТ Р 58594-2019, величину pH_{KCl} – по ГОСТ 26423-85, гидролитическую кислотность – по Каппену в модификации ЦИНАО (ГОСТ 26213-91), мобильный алюминий (по Соколову) – по ГОСТ 26485-86.

Агротехника выращивания пшеницы – традиционная для Московской обл. Общим фоном вносили гербициды, фунгициды, ретарданты. Более подробно данная методика представлена в работе [14].

Данные статистически обрабатывали дисперсионным методом в программе Stat VIVA.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Азотно-калийные удобрения, внесенные в формах N_{aa} и K_x (фон NK) в сильноизвестковую почву (pH_{KCl} 4.1 ед.), не способствовали повышению урожайности озимой пшеницы, которая оставалась сходной с контролем (без удобрений) из-за негативной динамики содержания (с 44.0 до 130 мг/кг почвы) токсичного для растений мобильного алюминия (табл. 1–4) [8, 9].

Таблица 1. Урожайность и окупаемость зерном озимой пшеницы (среднее за 2020–2022 гг.) в зависимости от кислотности почвы и примененных фосфорных и медных удобрений

| Вариант | Урожайность, т/га | Прибавка, т/га | | Окупаемость NPK прибавкой зерна, кг/кг |
|---|-------------------|---------------------------|-------|--|
| | | от P_2O_5 | от Cu | |
| Без известкования (pH_{KCl} 4.1) | | | | |
| Без удобрений | 2.22 | – | – | – |
| N120K90 | 2.20 | – | – | – |
| N120P90K90 | 3.89 | 1.69 | – | 5.7 |
| N120P90K90 + Cu | 4.14 | – | 0.25 | 6.4 |
| Известкование 11.5 т извести/га (pH_{KCl} 4.7) | | | | |
| N120K90 | 3.81 | – | – | – |
| N120P90K90 | 5.20 | 1.39 | – | 9.9 |
| N120P90K90 + Cu | 5.71 | – | 0.51 | 11.6 |
| Известкование 19.0 т извести/га (pH_{KCl} 5.4) | | | | |
| N120K90 | 5.15 | – | – | – |
| N120P90K90 | 6.32 | 1.17 | – | 13.7 |
| N120P90K90 + Cu | 6.82 | – | 0.50 | 15.3 |
| <i>HCP₀₅</i> | 0.28 | – | – | – |

Таблица 2. Урожайность озимой пшеницы (среднее за 2017–2019 гг.) в зависимости от кислотности почвы и примененных фосфорных и цинковых удобрений

| Вариант | Урожайность, т/га | Прибавка, т/га | | Окупаемость NPK прибавкой зерна, кг/кг |
|---|-------------------|----------------|-------|--|
| | | от P_2O_5 | от Zn | |
| Без известкования (pH_{KCl} 4.1) | | | | |
| Без удобрений | 2.18 | — | — | — |
| N120K90 | 2.40 | — | — | — |
| N120P90K90 | 3.89 | 1.49 | — | 5.7 |
| N120P90K90 + Zn | 4.20 | — | 0.31 | 6.7 |
| Известкование 11.5 т извести/га (pH_{KCl} 4.7) | | | | |
| N120K90 | 3.38 | — | — | — |
| N120P90K90 | 4.86 | 1.48 | — | 8.9 |
| N120P90K90 + Zn | 5.38 | — | 0.52 | 10.7 |
| Известкование 19.0 т извести/га (pH_{KCl} 5.4) | | | | |
| N120K90 | 4.97 | — | — | — |
| N120P90K90 | 6.31 | 1.34 | — | 13.8 |
| N120P90K90 + Zn | 6.92 | — | 0.61 | 15.8 |
| HCP_{05} | 3.1 | — | — | — |

Таблица 3. Урожайность озимой пшеницы (среднее за 2021–2023 гг.) в зависимости от кислотности почвы и примененных фосфорных и магниевых удобрений

| Вариант | Урожайность, т/га | Прибавка, т/га | | Окупаемость NPK прибавкой зерна, кг/кг |
|---|-------------------|----------------|-------|--|
| | | от P_2O_5 | от Mg | |
| Без известкования (pH_{KCl} 4.1) | | | | |
| Без удобрений | 2.52 | — | — | — |
| N120K90 | 2.75 | — | — | — |
| N120P90K90 | 4.53 | 1.78 | — | 6.7 |
| N120P90K90 + Mg | 4.86 | — | 0.33 | 7.8 |
| Известкование 11.5 т извести/га (pH_{KCl} 4.7) | | | | |
| N120K90 | 4.60 | — | — | — |
| N120P90K90 | 6.11 | 1.51 | — | 12.0 |
| N120P90K90 + Mg | 6.60 | — | 0.49 | 13.6 |
| Известкование 19.0 т извести/га (pH_{KCl} 5.4) | | | | |
| N120K90 | 5.81 | — | — | — |
| N120P90K90 | 6.92 | 1.11 | — | 14.7 |
| N120P90K90 + Mg | 7.53 | — | 0.61 | 16.7 |
| HCP_{05} | 0.31 | — | — | — |

Фосфорные удобрения в форме АФ, внесенные в дозе 90 кг P_2O_5 /га, обеспечивали прирост урожайности на всех исследованных фонах применения известки. На сильнокислой неизвесткованной почве (pH_{KCl} 4.1) средняя за 3 года урожайность увеличивалась в 2020–2022 гг. на 76.8, в 2017–2019 гг.– на 62.1, в 2021–2023 гг.– на 64.7, в 2019,

2021, 2022 гг.– на 71.9%. Прибавки от микроудобрений в этом случае были невысокими: от медных – на 6.4, от цинковых – на 8, от магниевых – на 7.3%, что было вызвано в числе прочего антагонизмом ионов меди, цинка и магния по отношению к ионам мобильного алюминия в почве, ограничивающим поступление микроэлементов в растения при

Таблица 4. Урожайность озимой пшеницы (среднее за 2019, 2021, 2022 г.) в зависимости от кислотности почвы, примененных фосфорных удобрений и Бисолбифита

| Вариант | Урожайность, т/га | Прибавка, т/га | | Окупаемость NPK прибавкой зерна, кг/кг |
|---|-------------------|----------------|----------------|--|
| | | от P_2O_5 | от Бисолбифита | |
| Без известкования (pH_{KCl} 4.1) | | | | |
| Без удобрений | 2.29 | — | — | — |
| N90K90 | 2.17 | — | — | — |
| N90P90K90 | 3.73 | 1.56 | — | 5.3 |
| N90P90K90 + Бф | 3.98 | — | 0.25 | 6.3 |
| Известкование 11.5 т извести/га (pH_{KCl} 4.7) | | | | |
| N90K90 | 3.56 | — | — | — |
| N90P90K90 | 4.77 | 1.21 | — | 9.2 |
| N90P90K90 + Бф | 5.21 | — | 0.44 | 10.8 |
| Известкование 19.0 т извести/га (pH_{KCl} 5.4) | | | | |
| N90K90 | 4.85 | — | — | — |
| N90P90K90 | 5.90 | 1.05 | — | 13.4 |
| N90P90K90 + Бф | 6.38 | — | 0.48 | 15.1 |
| HCP_{05} | 2.9 | — | — | — |

Примечание. Бф – бактериальный препарат Бисолбифит. То же в табл. 5–8.

избыточном насыщении (до 130 мг/кг) почвенного раствора ионами Al^{3+} [4]. Сравнительно небольшая прибавка от Бисолбифита (6.7%) на сильнокислой почве определялась намеренно сниженной дозой азота (до 90 кг д.в./га), с целью более точного выявления действия бактериального модификатора минеральных удобрений, а также токсическим действием на растения озимой пшеницы подвижного алюминия в почве.

Эффективность фосфорных удобрений на слабокислой почве (pH_{KCl} 5.4) снижалась, прирост урожайности был равен в 2020–2022 гг. 22.7, в 2017–2019 гг. – 27.0, в 2021–2023 гг. – 19.1, в 2019, 2021, 2022 гг. – 26.1%. Уменьшение отдачи от применения фосфорных удобрений на слабокислой почве было вызвано активизацией фосфорного питания растений благодаря известкованию, которое содействовало увеличению урожайности (в среднем за годы исследования) в 2.7 раза по сравнению с фоном NK на сильнокислой почве.

Когда количество мобильного алюминия в результате известкования (19.0 т извести/га) в разы уменьшилось, а почва стала слабокислой, от использования медных удобрений получена наибольшая урожайность 6.82 т/га, превышающая фон NK сильнокислой почвы в 3.1 раза, от цинковых – 6.92 т/га с превышением в 2.9 раза, от магниевых – 7.53 т/га и в 2.7 раза, от Бисолбифита – 6.38 т/га и в 2.9 раза соответственно.

Окупаемость минеральных удобрений зерном на слабокислой почве возрастила от применения меди

в 2.7 раза и достигала 15.3 кг/кг, цинка – в 2.8 раза и 15.8 кг/кг, магния – в 2.5 раза и 16.7 кг/кг, бисолбифита – в 2.8 раза и 15.1 кг/кг относительно почвы сильнокислой.

В среднем за все годы опыта (2017–2023) фосфорные удобрения повышали вынос фосфора в 2.5 раза из среднекислой почвы и в 3.5 раза – из слабокислой по сравнению с фоном NK. Вынос его при внесении микроэлементов и Бисолбифита в этих условиях был еще больше: из среднекислой почвы – в 3.1 раза, из слабокислой – в 3.8 раза, чем на фоне NK из сильнокислой почвы (табл. 5).

В среднем за все годы исследования коэффициент использования фосфора в почве со слабокислой реакцией среды с применением микроэлементов и Бисолбифита в 2.7 раза превышал таковой в сильнокислой почве (табл. 6).

Результаты выноса фосфора 1 т урожая в полной мере можно применить для уточнения справочных нормативов, основываясь на показателях урожайности растений озимой пшеницы, применяемых удобрений и препаратов с учетом кислотности дерново-подзолистой почвы Центрального Нечерноземья (табл. 7).

Совместное с фосфорными удобрениями внесение микроэлементов и Бисолбифита вызывало самый существенный прирост содержания белка в зерне озимой пшеницы, достигавший в среднем за годы опыта 13.3%, превосходя показатель на фоне NK сильнокислой почвы на 1.3% (табл. 8).

Таблица 5. Вынос фосфора растениями озимой пшеницы в зависимости от кислотности почвы, примененных удобрений и препаратов (среднее за 3 года), кг/га

| Вариант | Удобрения и препараты | | | |
|--|-----------------------|------|------|------|
| | Cu | Zn | Mg | Бф |
| Без известкования ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.1$) | | | | |
| Без удобрений | 17.6 | 17.3 | 20.9 | 17.0 |
| N120(90) K90 | 16.8 | 18.8 | 21.0 | 17.8 |
| N120(90) P90K90 | 31.9 | 33.6 | 39.4 | 32.4 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 36.6 | 38.9 | 43.9 | 34.6 |
| Известкование 11.5 т извести/га ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.7$) | | | | |
| Без удобрений | 33.9 | 30.9 | 41.5 | 33.1 |
| N120(90) K90 | 49.7 | 47.5 | 58.9 | 45.3 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 57.0 | 52.6 | 66.1 | 50.7 |
| Известкование 19.0 т извести/га ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5.4$) | | | | |
| Без удобрений | 50.0 | 49.1 | 56.5 | 43.2 |
| N120(90) K90 | 64.6 | 65.8 | 70.3 | 56.7 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 70.0 | 69.0 | 77.1 | 66.5 |

Примечание. В скобках (90) – доза азота для вариантов с применением Бисолбифита. То же в табл. 6–8.

Таблица 6. Использование фосфора растениями озимой пшеницы в зависимости от кислотности почвы, примененных удобрений и препаратов (среднее за 3 года), %

| Вариант | Удобрения и препараты | | | |
|--|-----------------------|------|------|------|
| | Cu | Zn | Mg | Бф |
| Без известкования ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.1$) | | | | |
| Без удобрений | – | – | – | – |
| N120(90) K90 | – | – | – | – |
| N120(90) P90K90 | 16.8 | 16.4 | 20.4 | 16.2 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 22.0 | 22.3 | 25.4 | 18.7 |
| Известкование 11.5 т извести/га ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.7$) | | | | |
| N120(90) K90 | – | – | – | – |
| N120(90) P90K90 | 36.6 | 31.9 | 42.1 | 30.6 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 44.7 | 37.6 | 50.1 | 36.6 |
| Известкование 19.0 т извести/га ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5.4$) | | | | |
| N120(90) K90 | – | – | – | – |
| N120(90) P90K90 | 53.1 | 52.2 | 54.8 | 43.2 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 59.1 | 55.8 | 62.3 | 54.1 |

Таблица 7. Вынос фосфора растениями озимой пшеницы (зерно + солома) 1 т урожая в зависимости от кислотности дерново-подзолистой почвы, примененных удобрений и препаратов (среднее за 3 года), кг

| Вариант | Удобрения и препараты | | | |
|--|-----------------------|------|------|------|
| | Cu | Zn | Mg | Бф |
| Без известкования ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.1$) | | | | |
| Без удобрений | — | — | — | — |
| N120(90) K90 | — | — | — | — |
| N120(90) P90K90 | 8.2 | 8.6 | 8.7 | 8.7 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 8.8 | 9.3 | 9.0 | 8.7 |
| Известкование 11.5 т извести/га ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.7$) | | | | |
| N120(90) K90 | — | — | — | — |
| N120(90) P90K90 | 9.6 | 9.8 | 9.6 | 9.5 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 10.0 | 9.8 | 10.0 | 9.7 |
| Известкование 19.0 т извести/га ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5.4$) | | | | |
| N120(90) K90 | — | — | — | — |
| N120(90) P90K90 | 10.2 | 10.4 | 10.2 | 9.6 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 10.3 | 10.0 | 10.2 | 10.4 |

Таблица 8. Содержание белка в зерне озимой пшеницы в зависимости от кислотности почвы, примененных удобрений и препаратов (среднее за 3 года)

| Вариант | Удобрения и препараты | | | |
|--|-----------------------|------|------|------|
| | Cu | Zn | Mg | Бф |
| Без известкования ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.1$) | | | | |
| Без удобрений | 12.0 | 12.0 | 12.2 | 11.8 |
| N120(90) K90 | 12.3 | 12.4 | 12.8 | 12.2 |
| N120(90) P90K90 | 12.4 | 12.5 | 12.5 | 12.3 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 12.4 | 12.6 | 13.1 | 12.4 |
| Известкование 11.5 т извести/га ($\text{pH}_{\text{KCl}} 4.7$) | | | | |
| N120(90) K90 | 12.4 | 12.7 | 12.7 | 12.3 |
| N120(90) P90K90 | 12.7 | 12.9 | 13.0 | 12.6 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 12.8 | 13.0 | 13.5 | 12.6 |
| Известкование 19.0 т извести/га ($\text{pH}_{\text{KCl}} 5.4$) | | | | |
| N120(90) K90 | 12.9 | 13.1 | 13.5 | 12.7 |
| N120(90) P90K90 | 13.1 | 13.4 | 13.2 | 12.9 |
| N120(90) P90K90 + примененное удобрение или препарат | 13.3 | 13.6 | 13.4 | 13.0 |
| <i>HCP₀₅</i> | 0.7 | 0.8 | 0.6 | 0.7 |

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, в длительном полевом опыте на дерново-подзолистой сильнокислой почве установлена сильная отзывчивость растений озимой пшеницы на совместное применение фосфорных,

известковых, микроэлементных удобрений и Бисолбифита по сравнению с фоном применения только азотно-калийных удобрений. На сильнокислой неизвесткованной почве с высоким содержанием мобильного алюминия (≈ 130 мг/кг) при систематическом

внесении физиологически кислых калия хлористого и селитры аммиачной фосфорные удобрения (в среднем за все годы исследования с 2017 по 2023 гг.) обеспечивали прирост урожайности озимой пшеницы на 69%, на известкованной 11.5 т извести/га на среднекислой почве – в 2.2 раза, на слабокислой (19.0 т извести/га) – в 2.7 раза, совместно с применением микроэлементов и Бисолбифита – в 2.4 и 2.9 раза больше, чем средняя урожайность на фоне азотно-калийных удобрений (2.38 т/га). Увеличивались окупаемость фосфорных удобрений зерном озимой пшеницы на слабокислой почве при внесении микроудобрений и Бисолбифита в 2.7 раза (до 15.7 кг/кг), содержание белка в зерне – на 1.3%, вынос фосфора – в 3.8 раза (до 70.7 кг/га), использование растениями озимой пшеницы фосфора – в 2.7 раза.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аристархов А.Н. Оптимизация полиэлементного состава в агросистемах России – агрохимическая оценка состояния дефицита, резервов, способов и средств его устранения / Под ред. Сычева В.Г. М.: ВНИИА, 2019. С. 200–255.
2. Небольсин А.Н., Небольсина З.П. Теоретические основы известкования почв. СПб.: ЛНИИСХ, 2005. С. 90–118.
3. 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.
4. Кук Д.У. Факторы, лимитирующие урожай, и их взаимодействие в системах земледелия // Вестн. сел.-хоз. науки. 1987. № 2. С. 124–130.
5. Кулаковская Т.Н. Оптимизация агрохимической системы почвенного питания растений. М., 1990. 218 с.
6. Shiwakoti S., Zheljazkov V.D., Gollany H.T., Kleber M., Xing B. Macronutrients in soil and wheat as affected by a long-term tillage and nitrogen fertilization in winter wheat–fallow rotation // Agronomy. 2019. V. 9. P. 178.
7. Гомонова Н.Ф. Влияние 30-летнего применения минеральных удобрений на урожай сельскохозяйственных культур и агрохимические показатели дерново-подзолистой почвы // Химия в сел.-хоз-ве. 1984. № 1. С. 8–11.
8. Kamprath E.J. Exchangeable aluminium as a criterion for liming leached mineral soils // Soil Sci. Soc. Amer. Proc. 1970. V. 34. № 2. P. 252–254.
9. Болдышева Е.П., Попова В.И. Методологические аспекты исследования оптимизации применения микроудобрений под зерновые культуры // Электр. научн.-метод. журн. ОмскГАУ. 2017. № 3(10). С. 2.
10. Аристархов А.Н., Бушуев Н.Н., Сафонова К.Г. Приоритеты применения различных видов, способов и доз микроудобрений под озимые и яровые сорта пшеницы в основных природно-сельскохозяйственных зонах России // Агрохимия. 2012. № 9. С. 26–40.
11. Shahzad Z., Amtmann A. Food for thought: how nutrients regulate root system architecture // Curr. Opin. Plant Biol. 2017. V. 39. P. 80–87. DOI: 10.1016/j.pbi.2017.06.008
12. Бахитова А.Р., Кидин В.В. Содержание микроэлементов в зерне ячменя при внесении микроудобрений в разные слои дерново-подзолистой почвы // Плодородие. 2016. № 6(93). С. 27–29.
13. Шеуджен А.Х., Бондарева Т.Н., Гуторова О.А., Петрик Я.Б. Медные удобрения в рисовом агроценозе // Плодородие. 2021. № 3(120). С. 62–65.
14. Бижан С.П. Влияние совместного применения фосфорных и магниевых удобрений на фоне азотно-калийных на урожайность, качество и вынос элементов питания яровым ячменем в зависимости от кислотности дерново-подзолистой почвы // Агрохимия. 2023. № 6. С. 39–46.

Enhancing the Effect of Phosphorus Fertilizers, Taking into Account Liming, Taking into Account Liming in Winter Wheat Cultivation on Sod-Podzolic Soil

S. P. Bizhan

D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia,
E-mail: kzuek@yandex.ru

In long-term field experience on sod-podzolic heavy loamy soil, a significant return was revealed from the use of zinc, copper, magnesium fertilizers, the microbial preparation Bisolbifit together with phosphorus fertilizers in connection with liming in winter wheat crops. The beneficial effect of the studied techniques on grain quality, payback of fertilizers, consumption and utilization rate of phosphorus by plants was noted. On highly acidic, untreated soil with a high content of mobile aluminum (about 130 mg/kg), caused by the systematic introduction of physiologically acidic potassium chloride and ammonium nitrate, phosphorus fertilizers (on average for all the years of the study from 2017 to 2023) provided an increase in winter wheat yield by 69% at a dose of 11.5 tons of lime/ha of medium acid in the soil by 2.2 times, on slightly acidic (19.0 tons of lime/ha) – by 2.7 times, together with the use of trace elements and Bisolbifit – by 2.4 and 2.9 times from the average background level of nitrogen-potassium fertilizers (2.38 t/ha). At the same time, the payback of phosphorus fertilizers with winter wheat grain on slightly acidic soil from the introduction of micro fertilizers and Bisolbifit increased 2.7 times (up to 15.7 kg/kg), the protein content in the grain increased by 1.3%, phosphorus removal by 3.8 times (up to 70.7 kg/ha), the use of phosphorus by winter wheat plants by 2.7 times.

Keywords: winter wheat, liming, phosphorous fertilizers, sod-podzolic soil, yield, grain payback.