

УДК 631.559:631.83:631.85

ВКЛАД МИНЕРАЛЬНЫХ УДОБРЕНИЙ В ФОРМИРОВАНИЕ УРОЖАЙНОСТИ ПОЛЕВЫХ КУЛЬТУР (СООБЩЕНИЕ 2). ФОСФОРНЫЕ И КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

© 2021 г. С. А. Шафран

*Всероссийский научно-исследовательский институт агрохимии им. Д.Н. Прянишникова
127550 Москва, ул. Прянишникова, 31а, Россия**E-mail: shafran38@mail.ru*

Поступила в редакцию 27.11.2020 г.

После доработки 12.12.2020 г.

Принята к публикации 11.05.2021 г.

Показаны результаты исследований, отражающих влияние агрохимических свойств почв на вклад фосфорных и калийных удобрений в формирование урожайности сельскохозяйственных культур. Наиболее высокое доленое участие фосфорных удобрений отмечено для почв с низкой степенью обеспеченности почв P_2O_5 , что составляло у зерновых культур и картофеля 17–30%. При высоком содержании подвижного фосфора вклад фосфорных удобрений в урожайность зерновых культур практически прекращался, тогда как в аналогичных условиях доля фосфорных удобрений в урожае картофеля снижалась только на 25–30, льна-долгунца – на 20–30 и сахарной свеклы – на 10–45%. Степень влияния калийных удобрений на формирование урожайности зерновых культур также в значительной мере зависела от содержания подвижного калия в почвах. При очень низкой обеспеченности K_2O серых лесных почв и черноземов выщелоченных вклад калийных удобрений в формировании урожайности яровой пшеницы составлял 32–42%. Доленое участие калийных удобрений в урожае картофеля при низком содержании подвижного калия в дерново-подзолистых и серых лесных почвах составляло 20–31, в черноземах выщелоченных – 17–26%, при высокой обеспеченности – соответственно 5–14 и 3–11%. На вклад калийных удобрений в урожай льна-долгунца большое влияние оказывал также гранулометрический состав почв. Для суглинистых почв он почти в 2 раза превышал показатели суглинков. Для супесчаных почв наиболее заметно проявилось влияние величины рН. В отличие от упомянутых культур сахарная свекла слабо реагировала на действие калийных удобрений в зависимости от содержания подвижного калия в почвах. Наибольшее влияние на вклад калийных удобрений оказывали дозы K_2O .

Ключевые слова: вклад удобрений, фосфорные и калийные удобрения, агрохимические свойства почв, подвижный фосфор, подвижный калий.

DOI: 10.31857/S0002188121080123

ФОСФОРНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Результаты многочисленных исследований показали, что содержание подвижного фосфора в почвах оказывает существенное влияние на урожайность сельскохозяйственных культур. Изменение степени обеспеченности почв P_2O_5 от низкого до высокого уровня способствовало увеличению урожайности зерновых культур в 2 с лишним раза. В то же время, переход почв от низкой группы обеспеченности подвижным фосфором в высокую обеспечивал повышение урожайности картофеля только на 20–60, льна-долгунца – на 11–22 и сахарной свеклы – на 10–47% [1]. Наряду с этим снижалась прибавка урожая от внесения фосфорных удобрений. На почвах с низким содержанием подвижного фосфора отмечали

наибольший прирост урожайности зерновых культур, который резко снижался по мере увеличения фосфатного уровня почвы. При высокой степени обеспеченности почв P_2O_5 фосфорные удобрения практически не влияли на урожайность зерновых культур, тогда как при внесении под картофель они продолжали действовать, хотя и менее заметно [2]. В связи с этим, вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности данных культур должен существенно различаться. При этом следует учесть, что на эффективность фосфорных удобрений, кроме содержания подвижного фосфора в почвах Нечерноземной зоны, оказывает влияние также реакция почвенной среды, что вызывает необходимость учета

Таблица 1. Вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности озимой пшеницы на почвах Нечерноземной зоны, %

| Содержание P ₂ O ₅ в почве, мг/кг | Дозы фосфорных удобрений, кг/га | | | | |
|---|---------------------------------|----|----|----|-----|
| | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 |
| Дерново-подзолистые почвы | | | | | |
| pH ≤ 5.5 | | | | | |
| ≤ 50 | 17 | 19 | 20 | 21 | 22 |
| 51–75 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 |
| 76–100 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 101–150 | 1 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| > 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| pH > 5.5 | | | | | |
| ≤ 50 | 24 | 25 | 27 | 29 | 29 |
| 51–75 | 8 | 8 | 9 | 10 | 10 |
| 76–100 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 |
| 101–150 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| > 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1,1 |
| Серые лесные почвы | | | | | |
| pH ≤ 5.5 | | | | | |
| ≤ 50 | 18 | 20 | 21 | 23 | 23 |
| 51–75 | 5 | 6 | 7 | 7 | 7 |
| 76–100 | 3 | 3 | 3 | 4 | 4 |
| 101–150 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| > 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| pH > 5.5 | | | | | |
| ≤ 50 | 24 | 26 | 27 | 29 | 30 |
| 51–75 | 8 | 9 | 9 | 10 | 10 |
| 76–100 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 101–150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| > 150 | | | | | |
| Черноземы выщелоченные | | | | | |
| ≤ 50 | 18 | 19 | 21 | 21 | 21 |
| 51–75 | 6 | 6 | 6 | 7 | 6 |
| 76–100 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| 101–150 | 1 | 1 | 1 | 2 | 1 |
| > 150 | 0 | 1 | 1 | 1 | 1 |

этого фактора при определении величины долевого участия удобрений в урожае.

Исследованиями установлено, что вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности озимой пшеницы, возделываемой на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, мало различался между ними. В обоих случаях степень участия фосфорных удобрений в урожае резко снижалась по мере увеличения содержания фосфатов

Таблица 2. Вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности яровой пшеницы на почвах Нечерноземной зоны, %

| Содержание P ₂ O ₅ в почве, мг/кг | Дозы фосфорных удобрений, кг/га | | | | |
|---|---------------------------------|----|----|----|-----|
| | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 |
| Дерново-подзолистые почвы | | | | | |
| ≤ 50 | 21 | 24 | 26 | 27 | 28 |
| 51–75 | 7 | 8 | 8 | 9 | 10 |
| 76–100 | 3 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 101–150 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| > 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Серые лесные почвы | | | | | |
| ≤ 50 | 25 | 27 | 28 | 30 | 31 |
| 51–75 | 8 | 9 | 10 | 11 | 11 |
| 76–100 | 4 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| 101–150 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| > 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Черноземы выщелоченные | | | | | |
| ≤ 50 | 26 | 29 | 30 | 33 | 33 |
| 51–75 | 9 | 10 | 11 | 11 | 11 |
| 76–100 | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| 101–150 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| > 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

в почвах. При повышенной и высокой обеспеченности вклад фосфорных удобрений был незначительным (табл. 1). Снижение степени кислотности способствовало заметному повышению роли фосфорных удобрений в продукционном процессе. На черноземах выщелоченных зафиксированы те же закономерности, исключая действие величины pH, поскольку влияние этого фактора в данном случае не проявилось.

Вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности яровой пшеницы был изучен также на этих почвенных разновидностях. Установлено, что доленое участие фосфорных удобрений в урожайности яровой пшеницы было аналогично озимой, т.е. повышение фосфатного уровня влекло за собой снижение вклада фосфорных удобрений в урожай (табл. 2). Вместе с тем следует отметить, что этот вклад несколько превышал аналогичные показатели для озимой пшеницы. Наиболее заметно это проявилось на черноземах выщелоченных, где при низкой степени обеспеченности почвы подвижным фосфором доленое участие фосфорных удобрений в формировании урожайности озимой пшеницы составило в зависимости от дозы P₂O₅ 18–21%, яровой – 26–33%.

Таблица 3. Вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности ячменя ярового на почвах Нечерноземной зоны, %

| Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг | Дозы фосфорных удобрений, кг/га | | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|----|----|----|-----|
| | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 |
| Дерново-подзолистые почвы | | | | | |
| рН ≤ 5.5 | | | | | |
| ≤ 50 | 20 | 21 | 23 | 24 | 25 |
| 51–75 | 6 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| 76–100 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| 101–150 | 1 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| > 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| рН > 5.5 | | | | | |
| ≤ 50 | 26 | 28 | 29 | 31 | 32 |
| 51–75 | 9 | 9 | 10 | 11 | 11 |
| 76–100 | 4 | 5 | 5 | 5 | 6 |
| 101–150 | 2 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| > 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Серые лесные почвы | | | | | |
| рН ≤ 5.5 | | | | | |
| ≤ 50 | 20 | 22 | 23 | 25 | 25 |
| 51–75 | 7 | 7 | 8 | 9 | 9 |
| 76–100 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| 101–150 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| > 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| рН > 5.5 | | | | | |
| ≤ 50 | 27 | 29 | 31 | 32 | 33 |
| 51–75 | 9 | 10 | 11 | 12 | 12 |
| 76–100 | 4 | 5 | 5 | 6 | 6 |
| 101–150 | 2 | 2 | 2 | 3 | 3 |
| > 150 | | | | | |
| Черноземы выщелоченные | | | | | |
| ≤ 50 | 21 | 23 | 25 | 26 | 27 |
| 51–75 | 7 | 7 | 8 | 9 | 9 |
| 76–100 | 3 | 3 | 4 | 4 | 4 |
| 101–150 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| > 150 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 |

В опытах с яровым ячменем был получен такой же результат, что и для озимой пшеницы, поскольку в данном случае представилась возможность при обобщении экспериментальных данных учесть влияние не только содержания подвижного фосфора в почве, но и степень ее кислотности.

Наибольший вклад фосфорных удобрений при низкой обеспеченности почв P_2O_5 (табл. 3) отме-

чен на дерново-подзолистых и серых лесных почвах в зависимости от доз – 20–25, на черноземах выщелоченных – 21–27%. Снижение кислотности почв позволило повысить долевое участие фосфорных удобрений на 6–8%.

Влияние содержания подвижного фосфора на урожайность картофеля и на эффективность применения фосфорных удобрений под эту культуру проявлялось несколько иначе по сравнению с зерновыми. Увеличение степени обеспеченности почв P_2O_5 от низкого до высокого уровня вызвало повышение урожайности картофеля на 20–60%, что соответственно повлияло на вклад фосфорных удобрений в формирование его урожайности. Как было отмечено ранее, повышение фосфатного уровня почв способствовало резкому снижению роли фосфорных удобрений в урожае зерновых культур, вклад при высокой степени обеспеченности почв P_2O_5 приближался к нулевой отметке. В аналогичных условиях положительное действие фосфорных удобрений на картофеле продолжалось, хотя и в меньшей степени. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах такое снижение составляло ≈ 25–30%. На черноземах выщелоченных вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности картофеля был меньше по сравнению с дерново-подзолистыми и серыми лесными почвами, степень его снижения вследствие повышения фосфатного уровня почв достигала 50% (табл. 4).

Лен-долгунец, имея слаборазвитую корневую систему, особенно чувствителен к недостатку в почве усвояемых форм фосфора. Обобщение многолетних полевых опытов показало, что наибольшая прибавка урожайности льносоломы получена при содержании подвижного фосфора < 50 мг/кг и слабокислой или близкой к нейтральной реакции почвенной среды. Повышение фосфатного уровня почв способствовало увеличению урожайности льна-долгунца в гораздо меньшей степени по сравнению с зерновыми культурами и картофелем. Прирост в данном случае составлял 11–22%. Одновременно с этим снижалась прибавка урожайности льносоломы от внесения фосфорных удобрений примерно на 20–25%. Однако по мере повышения степени обеспеченности почв P_2O_5 доля участия фосфора удобрений в урожае льносоломы снижалась менее заметно по сравнению с не только зерновыми культурами, но также в отдельных случаях и с картофелем (табл. 5). В целом вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности льносоломы оказался значительно меньше, чем зерновых культур и картофеля. Дозы фосфора мало влияли на данный показатель.

Таблица 4. Вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности картофеля, %

| P ₂ O ₅ , мг/кг почвы | Дозы фосфорных удобрений, кг/га | | | | |
|---|---------------------------------|----|----|----|-----|
| | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 |
| Дерново-подзолистые супесчаные почвы | | | | | |
| ≤50 | 20 | 24 | 25 | 25 | 28 |
| 51–100 | 16 | 20 | 22 | 23 | 25 |
| 101–150 | 15 | 18 | 20 | 22 | 23 |
| 151–250 | 15 | 18 | 20 | 22 | 22 |
| >250 | 14 | 18 | 20 | 21 | 21 |
| Дерново-подзолистые суглинистые почвы | | | | | |
| ≤50 | 21 | 24 | 26 | 29 | 30 |
| 51–100 | 16 | 19 | 21 | 24 | 25 |
| 101–150 | 14 | 17 | 18 | 22 | 23 |
| 151–250 | 14 | 16 | 18 | 21 | 22 |
| >250 | 12 | 16 | 17 | 21 | 21 |
| Серые лесные почвы | | | | | |
| ≤50 | 17 | 21 | 23 | 24 | 25 |
| 51–100 | 14 | 17 | 18 | 20 | 20 |
| 101–150 | 13 | 17 | 18 | 19 | 20 |
| 151–250 | 12 | 15 | 17 | 18 | 19 |
| >250 | 12 | 14 | 16 | 16 | 18 |
| Черноземы выщелоченные | | | | | |
| ≤50 | 16 | 20 | 22 | 24 | 25 |
| 51–100 | 10 | 14 | 15 | 17 | 18 |
| 101–150 | 8 | 11 | 13 | 14 | 15 |
| 151–250 | 7 | 10 | 12 | 13 | 15 |
| >250 | 7 | 10 | 11 | 13 | 14 |

Для сахарной свеклы уровень содержания подвижного фосфора в почвах так же, как и для других культур является одним из важных показателей плодородия почв, определяющих величину урожайности и эффективность фосфорных удобрений. Об этом достаточно убедительно свидетельствуют экспериментальные данные, приведенные для различных зон страны. На всех подтипах черноземных почв с увеличением содержания P₂O₅ возрастала урожайность в контрольных вариантах и снижалась прибавка урожая от внесения фосфорных удобрений. Наиболее заметным такое снижение отмечено на черноземах выщелоченных Центрального федерального округа, которое можно объяснить тем, что в данной выборке были почвы с низким и средним содержанием P₂O₅, тогда как в других выборках они отсутствовали. В связи с этим диапазон изменения степени обеспеченности почв P₂O₅ был более высоким, т.к. охватывал 5 классификационных групп, тогда

Таблица 5. Вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности льна-долгунца на дерново-подзолистых почвах, %

| рН | P ₂ O ₅ , мг/кг | Дозы фосфорных удобрений, кг/га | | | |
|---------|---------------------------------------|---------------------------------|----|----|----|
| | | 20 | 40 | 60 | 80 |
| ≤4.5 | 26–50 | 10 | 11 | 11 | 12 |
| | 51–100 | 9 | 9 | 10 | 11 |
| | 101–150 | 8 | 9 | 9 | 10 |
| | 151–250 | 7 | 8 | 9 | 9 |
| 4.6–5.0 | 26–50 | 10 | 10 | 10 | 12 |
| | 51–100 | 8 | 9 | 10 | 10 |
| | 101–150 | 8 | 8 | 9 | 9 |
| | 151–250 | 7 | 8 | 8 | 9 |
| 5.1–5.5 | 26–50 | 9 | 10 | 10 | 11 |
| | 51–100 | 8 | 8 | 9 | 11 |
| | 101–150 | 7 | 8 | 9 | 9 |
| | 151–250 | 7 | 7 | 8 | 8 |
| 5.6–6.0 | 26–50 | 10 | 10 | 11 | 11 |
| | 51–100 | 9 | 9 | 10 | 10 |
| | 101–150 | 7 | 8 | 9 | 9 |
| | 151–250 | 7 | 8 | 8 | 9 |

как в других выборках — только 2–3 группы. Это отразилось соответственно на результатах исследования, что все-таки позволило оценить влияние содержания подвижных фосфатов на вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности сахарной свеклы в основных зонах свекловодства.

Согласно полученным данным, наблюдали отдельное снижение долевого участия фосфорных удобрений в урожае сахарной свеклы при повышении фосфатного уровня почв (табл. 6). Наибольший вклад отмечен на черноземах выщелоченных Приволжского федерального округа, составивший для почв со средним содержанием P₂O₅ (<100 мг/кг) в зависимости от дозы 16–24%. На таком же типе черноземов Центрального и Сибирского федеральных округов подобный показатель составлял 10–14%.

КАЛИЙНЫЕ УДОБРЕНИЯ

Исследованиями последних лет расширилось представление о роли калия в жизнедеятельности культурных растений и в повышении продуктивности сельскохозяйственных культур. Несмотря на самый высокий вынос калия урожаями возделываемых культур, в настоящее время применение калийных удобрений резко сократилось как в

Таблица 6. Вклад фосфорных удобрений в формирование урожайности сахарной свеклы, %

| Содержание P_2O_5 в почве, мг/кг | Дозы фосфорных удобрений, кг/га | | | | |
|------------------------------------|---------------------------------|----|-----|-----|-----|
| | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| Центральный федеральный округ | | | | | |
| Черноземы выщелоченные | | | | | |
| ≤50 | 13 | 17 | 18 | — | 20 |
| 51–100 | 10 | 13 | 14 | — | 16 |
| 101–150 | 8 | 10 | 11 | — | 13 |
| 151–200 | 7 | 10 | 11 | — | 12 |
| >200 | 7 | 9 | 10 | — | 11 |
| Черноземы типичные | | | | | |
| ≤100 | 10 | 11 | 12 | — | 12 |
| 101–150 | 9 | 10 | 10 | — | 10 |
| >150 | 8 | 9 | 9 | — | 9 |
| Чернозем обыкновенный | | | | | |
| ≤100 | 12 | 13 | 13 | — | 13 |
| 101–150 | 11 | 12 | 12 | — | 13 |
| >150 | 11 | 11 | 12 | — | 12 |
| Южный федеральный округ | | | | | |
| Черноземы карбонатные | | | | | |
| 10–15 | 12 | 12 | — | — | — |
| 16–30 | 12 | 11 | — | — | — |
| Приволжский федеральный округ | | | | | |
| Черноземы выщелоченные | | | | | |
| ≤100 | 16 | 20 | 23 | 24 | — |
| 101–150 | 14 | 18 | 20 | 21 | — |
| >150 | 12 | 16 | 18 | 19 | — |
| Сибирский федеральный округ | | | | | |
| Черноземы выщелоченные | | | | | |
| 101–150 | 12 | 12 | 13 | — | 19 |
| 151–250 | 11 | 11 | 12 | — | 18 |
| >250 | 4 | 4 | 5 | — | 7 |
| Черноземы обыкновенные | | | | | |
| 101–150 | 2 | 11 | 12 | — | 15 |
| 151–250 | 2 | 8 | 9 | — | 11 |
| >250 | 1 | 4 | 5 | — | 5 |

нашей стране, так и восточно-европейских государствах [1]. Ежегодный дефицит калия в среднем в РФ варьирует от 16 до 30 кг K_2O /га, что в сумме за 30 лет составило 500 кг K_2O /га [2].

Известно, что систематическое превышение выноса K_2O над его поступлением в почву рано или поздно приведет к деградации почв по степени их обеспеченности данным элементом питания. В первую очередь это касается менее буфер-

ных дерново-подзолистых почв, в которых уже сейчас наметилась устойчивая тенденция к снижению содержания подвижного калия.

По обобщенным данным Географической сети опытов с удобрениями и Агрохимической службы, урожайность основных сельскохозяйственных культур находится в прямой зависимости, а эффективность калийных удобрений — в обратной от уровня обеспеченности почв подвижным калием. Например, на дерново-подзолистых почвах Центрального федерального округа повышение содержания K_2O от низкого до высокого способствовало приросту урожайности озимой пшеницы без внесения удобрений в 2 с лишним раза, тогда как при этом резко снижалась прибавка урожая от внесения калийных удобрений [2]. Аналогичная закономерность отмечена также для других зерновых культур, возделываемых на различных типах почв. Все это нашло свое отражение во влиянии на величину вклада калийных удобрений в формирование урожайности зерновых культур.

Наиболее высокое долевое участие калийных удобрений в урожае озимой пшеницы и ярового ячменя на дерново-подзолистых почвах отмечено при содержании $K_2O < 80$ мг/кг. Переход почв в более высокую квалификационную группу значительно снижал роль калийных удобрений в повышении урожайности этих зерновых культур (табл. 7).

В опытах с яровой пшеницей выявлена та же закономерность, что и с озимой, хотя эксперименты с этими культурами были проведены в различных природно-климатических условиях. Кроме того, в выборке для яровой пшеницы имелись опыты, в которых содержание подвижного калия относили к очень низкой группе обеспеченности. Это позволило выявить высокий эффект от калийных удобрений на серых лесных почвах и черноземах выщелоченных среднего Поволжья. До этого считали, что внесение калийных удобрений под яровую пшеницу малоэффективно. Вклад калийных минеральных удобрений в формирование урожайности яровой пшеницы оказался очень высоким (32–42%) в зависимости от доз.

Из всех изученных зерновых культур ячмень лучше других отзывался на участие калийных удобрений в формировании урожайности. При одинаковой степени обеспеченности K_2O ячмень несколько превышал аналогичные показатели озимой и особенно яровой пшеницы.

Наиболее высокую прибавку урожайности картофеля от внесения калийных удобрений отмечали при низком содержании подвижного ка-

Таблица 7. Вклад калийных удобрений в формирование урожайности зерновых культур на почвах Нечерноземной зоны, %

| Содержание K ₂ O, мг/кг | Дозы калийных удобрений, кг/га | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|----|----|----|
| | 30 | 45 | 60 | 90 |
| Озимая пшеница | | | | |
| Дерново-подзолистые почвы | | | | |
| <80 | 16 | 18 | 20 | 22 |
| 81–120 | 4 | 4 | 4 | 5 |
| 121–170 | 1 | 1 | 2 | 2 |
| Черноземы оподзоленные и выщелоченные | | | | |
| 81–120 | 5 | 6 | 6 | 7 |
| >120 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Яровая пшеница | | | | |
| Серые лесные почвы | | | | |
| ≤40 | 32 | 34 | 36 | 39 |
| 41–80 | 8 | 9 | 10 | 10 |
| 81–120 | 3 | 3 | 3 | 4 |
| >120 | 1 | 2 | 2 | 2 |
| Черноземы оподзоленные и выщелоченные | | | | |
| ≤40 | 36 | 38 | 40 | 42 |
| 41–80 | 10 | 11 | 11 | 12 |
| 81–120 | 4 | 4 | 4 | 4 |
| >120 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Ячмень яровой | | | | |
| Дерново-подзолистые почвы | | | | |
| ≤80 | 19 | 20 | 22 | 24 |
| 81–120 | 6 | 6 | 7 | 8 |
| >120 | 2 | 3 | 3 | 3 |
| Серые лесные почвы | | | | |
| ≤80 | 14 | 16 | 17 | 18 |
| 81–120 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| >120 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| Черноземы оподзоленные и выщелоченные | | | | |
| ≤80 | 15 | 16 | 18 | 19 |
| 81–120 | 4 | 5 | 5 | 6 |
| >120 | 2 | 2 | 2 | 2 |

лия [3]. В соответствии с этим изменилась величина вклада калийных удобрений в формирование его урожайности. Имелись различия также в зависимости от типа и гранулометрического состава почв. На дерново-подзолистых супесчаных почвах доля калийных удобрений при низком содержании K₂O в урожае картофеля составила 23–32, на дерново-подзолистых суглинистых – 21–31, на серых лесных – 20–28, на черноземах выщелоченных – 17–26%, при высоком содержании

Таблица 8. Вклад калийных удобрений в формирование урожайности картофеля, %

| Содержание K ₂ O, мг/кг | Дозы калийных удобрений, кг/га | | | | |
|---------------------------------------|--------------------------------|----|----|----|-----|
| | 30 | 45 | 60 | 90 | 120 |
| Дерново-подзолистые супесчаные почвы | | | | | |
| 41–80 | 23 | 25 | 27 | 30 | 31 |
| 81–120 | 9 | 11 | 12 | 14 | 15 |
| 121–170 | 6 | 7 | 9 | 10 | 12 |
| 171–250 | 5 | 6 | 9 | 8 | 10 |
| Дерново-подзолистые суглинистые почвы | | | | | |
| 41–80 | 21 | 25 | 27 | 29 | 31 |
| 81–120 | 10 | 12 | 14 | 18 | 17 |
| 121–170 | 6 | 9 | 10 | 14 | 12 |
| 171–250 | 5 | 7 | 8 | 12 | 14 |
| Серые лесные почвы | | | | | |
| 41–80 | 20 | 24 | 25 | 28 | 28 |
| 81–120 | 11 | 14 | 16 | 17 | 20 |
| 121–170 | 8 | 11 | 12 | 14 | 16 |
| 171–250 | 6 | 9 | 8 | 11 | 13 |
| Черноземы выщелоченные | | | | | |
| 41–80 | 17 | 21 | 23 | 24 | 26 |
| 81–120 | 9 | 13 | 14 | 16 | 17 |
| 121–170 | 6 | 9 | 11 | 13 | 14 |
| 171–250 | 3 | 8 | 9 | 10 | 11 |

K₂O – соответственно 5–10, 5–14, 6–13 и 3–11%, т.е. в несколько раз меньше (табл. 8). Вместе с тем очевидно, что дозы K₂O в 1.5–2.0 раза увеличивали долю калийных удобрений в формировании урожая картофеля. Наиболее заметно это в условиях уменьшения обеспеченности почв подвижным калием.

Лен-долгунец относится к калиелюбивым культурам, и поэтому применение под него калийных удобрений оказывает большее влияние на урожайность по сравнению с фосфорными. Обобщение и статистическая обработка данных полевых опытов свидетельствовали о том, что эффективность калийных удобрений в значительной мере зависит от величины рН и содержания подвижного калия в почвах. Наиболее четко это проявляется на почвах, более легких по гранулометрическому составу. Вклад калийных удобрений в формирование урожайности льносоломы на дерново-подзолистых супесчаных почвах намного превышал таковой на легких суглинках и особенно на средних, для которых этот вклад возрастал почти в 2 раза (табл. 9). При этом влияние величины рН на долевое участие калийных удоб-

Таблица 9. Вклад калийных удобрений в формирование урожайности льна-долгунца на дерново-подзолистых почвах, %

| рН | Содержание K ₂ O, мг/кг почвы | Дозы калийных удобрений, кг/га | | | |
|-------------------------|--|--------------------------------|----|----|-----|
| | | 30 | 60 | 90 | 120 |
| Супесчаные почвы | | | | | |
| 4.6–5.0 | ≤40 | 22 | 25 | 26 | 24 |
| | 41–80 | 15 | 18 | 18 | 17 |
| | >80 | 11 | 13 | 14 | 13 |
| 5.1–5.5 | ≤40 | 24 | 27 | 27 | 26 |
| | 41–80 | 17 | 19 | 20 | 19 |
| | >80 | 12 | 14 | 14 | 13 |
| 5.6–6.0 | ≤40 | 29 | 29 | 29 | 29 |
| | 41–80 | 21 | 21 | 21 | 21 |
| | >80 | 15 | 16 | 16 | 15 |
| Легкосуглинистые почвы | | | | | |
| ≤4.5 | ≤40 | 15 | 17 | 17 | 17 |
| | 41–80 | 12 | 14 | 14 | 13 |
| | >80 | 9 | 11 | 11 | 10 |
| 4.6–5.0 | ≤40 | 16 | 17 | 19 | 17 |
| | 41–80 | 13 | 14 | 15 | 13 |
| | >80 | 10 | 10 | 10 | 10 |
| 5.1–5.5 | ≤40 | 15 | 17 | 17 | 15 |
| | 41–80 | 12 | 14 | 14 | 13 |
| | >80 | 10 | 11 | 11 | 10 |
| 5.6–6.0 | ≤40 | 15 | 16 | 17 | 16 |
| | 41–80 | 12 | 13 | 14 | 13 |
| | >80 | 10 | 10 | 11 | 10 |
| Среднесуглинистые почвы | | | | | |
| ≤4.5 | ≤40 | 12 | 14 | 15 | 15 |
| | 41–80 | 10 | 11 | 13 | 13 |
| | >80 | 7 | 9 | 10 | 10 |
| 4.6–5.0 | ≤40 | 14 | 15 | 15 | 16 |
| | 41–80 | 11 | 12 | 13 | 13 |
| | >80 | 8 | 10 | 10 | 11 |
| 5.1–5.5 | ≤40 | 14 | 15 | 16 | 16 |
| | 41–80 | 12 | 12 | 13 | 14 |
| | >80 | 9 | 10 | 10 | 11 |
| 5.6–6.0 | ≤40 | 14 | 14 | 16 | 16 |
| | 41–80 | 11 | 11 | 13 | 13 |
| | >80 | 8 | 10 | 10 | 11 |

рений в урожае наиболее заметно проявилось на супесчаных почвах.

Среди сельскохозяйственных культур сахарная свекла по отзывчивости на калийные удобрения занимает особое место. По этому показателю

Таблица 10. Вклад калийных удобрений в формирование урожайности сахарной свеклы, %

| Почвы | Дозы калийных удобрений, кг/га | | | | |
|-------------------------------|--------------------------------|----|-----|-----|-----|
| | 60 | 90 | 120 | 150 | 180 |
| Центральный федеральный округ | | | | | |
| Черноземы выщелоченные | 19 | 21 | 22 | 22 | 23 |
| Черноземы типичные | 15 | 17 | 20 | 21 | 22 |
| Черноземы обыкновенные | 7 | 8 | 8 | 9 | 9 |
| Приволжский федеральный округ | | | | | |
| Черноземы выщелоченные | 16 | 18 | – | 18 | – |
| Сибирский федеральный округ | | | | | |
| Черноземы выщелоченные | 1 | 8 | 14 | – | 14 |
| Черноземы обыкновенные | – | 10 | – | – | – |

она превосходит не только зерновые культуры, но также картофель и лен-долгунец во всех почвенно-климатических зонах, где возделывают эту культуру. Статистическая обработка экспериментального материала показала, что эффективность калийных удобрений мало изменяется в зависимости от степени обеспеченности почв подвижным калием, а более существенный вклад в формирование урожая сахарной свеклы оказывают дозы калия (табл. 10). Подтип черноземов также влиял на величину данного показателя.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования показали, что вклад фосфорных и калийных удобрений в формирование урожайности основных сельскохозяйственных культур зависит в основном от их биологических особенностей и агрохимических свойств почв. Для зерновых культур, возделываемых на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, основополагающими показателями, влияющими на величину доли фосфорных удобрений в формировании урожая является в первую очередь степень их обеспеченности подвижными фосфатами. Снижение степени кислотности также положительно воздействует на формирование урожайности озимой пшеницы и ярового ячменя.

При увеличении содержания подвижного фосфора вклад фосфорных удобрений в урожай зерновых культур резко снижался и при высокой обеспеченности практически прекращался. В

аналогичных условиях доля фосфорных удобрений в формировании урожайности картофеля, льна-долгунца и сахарной свеклы также снижалась, но в меньшей степени. При высоком содержании подвижного фосфора вклад фосфорных удобрений в урожай картофеля снижался на 25–30, льна-долгунца – на 20–30%, а сахарной свеклы – варьировал в зависимости от почвенной разновидности и уровня обеспеченности почв P_2O_5 от 10 до 45%.

Степень участия калийных удобрений в формировании урожайности зерновых культур отличалась в зависимости от типа почв и содержания в них подвижного калия. Из изученных зерновых культур ячмень лучше других отзывался на внесение калия и поэтому вклад калийных удобрений в формирование его урожайности при одинаковой степени обеспеченности K_2O несколько превышал показатели озимой и, особенно, яровой пшеницы. При очень низком содержании K_2O в серых лесных почвах и черноземах выщелоченных вклад калийных удобрений в формировании урожайности яровой пшеницы составлял 32–42%.

Вклад калийных удобрений в урожайность картофеля при низком содержании K_2O находился в пределах 23–31% на дерново-подзолистых супесчаных почвах, на суглинистых – 21–31 на серых лесных – 20–28, на черноземах выщело-

ченных – 17–26%, при высоком содержании – соответственно 5–10, 5–14, 6–13, 3–11%. Дозы K_2O в 1.5–2.0 раза увеличивали долю участия калийных удобрений в получении урожая картофеля.

Вклад калийных удобрений в формирование урожайности льна-долгунца на супесчаных почвах почти в 2 раза превышал показатели среднесуглинистых почв. На супесчаных почвах также наиболее заметно проявилось влияние величины рН на долевое участие калийных удобрений в урожае.

В отличие от упомянутых культур, сахарная свекла слабо реагировала на действие калийных удобрений в зависимости от содержания K_2O в почвах. Наиболее заметное влияние на вклад калийных удобрений в формирование урожая этой культуры оказали почвенная разновидность и дозы калийных удобрений.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых. М.: ВНИИА, 2016. 96 с.
2. Как с наибольшей пользой применять удобрения под картофель. М.: ВНИИА, 2015. 40 с.
3. *Шафран С.А.* Ассортимент минеральных удобрений и экономическая эффективность их применения. М.: Изд-во "Литтерра", 2020. 229 с.

Contribution of Mineral Fertilizers to the Formation of Field Crop Yields (Report 2). Phosphorus and Potash Fertilizers

S. A. Shafran

*D.N. Pryanishnikov All-Russian Research Institute of Agrochemistry
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia
E-mail: shafran38@mail.ru*

The results of studies reflecting the influence of agrochemical properties of soils on the contribution of phosphorus and potash fertilizers to the formation of crop yields are shown. The highest share of phosphorus fertilizers was observed for soils with a low degree of P_2O_5 soil availability, which was 17–30% for cereals and potatoes. With a high content of mobile phosphorus, the contribution of phosphorus fertilizers to the yield of grain crops almost stopped, while under similar conditions, the share of phosphorus fertilizers in the yield of potatoes decreased only by 25–30, flax – by 20–30 and sugar beet – by 10–45%. The degree of influence of potash fertilizers on the formation of grain crop yields also largely depended on the content of mobile potassium in the soils. With a very low K_2O content of gray forest soils and leached chernozems, the contribution of potash fertilizers to the formation of spring wheat yield was 32–42%. The share of potash fertilizers in the potato crop with a low content of mobile potassium in sod-podzolic and gray forest soils was 20–31, in leached chernozems – 17–26%, with high availability – 5–14 and 3–11%, respectively. The contribution of potash fertilizers to the flax crop was also greatly influenced by the granulometric composition of the soil. For loamy soils, it was almost 2 times higher than the indicators of loams. For sandy loam soils, the influence of the pH value was most noticeable. In contrast to the mentioned crops, sugar beet reacted poorly to the action of potash fertilizers, depending on the content of mobile potassium in the soils. The greatest influence on the contribution of potash fertilizers was exerted by the doses of K_2O .

Key words: contribution of fertilizers, phosphoric and potash fertilizers, agrochemical properties of soils, mobile phosphorus, mobile potassium.