

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ СТАТЬИ

## Плодородие почв

УДК 631.416.4:631.559:631.84

**ЗНАЧЕНИЕ ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВ ПОДВИЖНЫМ КАЛИЕМ  
В ПОВЫШЕНИИ УРОЖАЙНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ  
АЗОТНЫХ УДОБРЕНИЙ**

© 2024 г. С. А. Шафран\*

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

Изложены результаты исследования, посвященного изучению влияния содержания подвижного калия в различных почвах на урожайность основных сельскохозяйственных культур и эффективность применения под них азотных удобрений. Согласно полученным данным, обеспеченность почв подвижным калием играет весьма заметную роль в повышении урожайности зерновых культур, картофеля и льна-долгунца. В наибольшей степени это коснулось дерново-подзолистых почв, на которых более высоким оказался прирост урожайности за счет повышения их калийного уровня и более высокой отдачи от внесения азотных удобрений. Среди изученных культур выделялась озимая пшеница, которая лучше других реагирует не только на увеличение содержания  $K_2O$  в почве, но и в целом на их агрохимическое окультуривание. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах ее урожайность возрастала в 3 раза, на черноземах выщелоченных — в 2.5 раза, тогда как на таких же почвах урожайность яровой пшеницы увеличилась в 1.2–1.3 раза, картофеля — в 1.5 раза и льна-долгунца в зависимости от предшественника — в 1.7–1.9 раза. Установлена зависимость эффективности азотных удобрений от содержания подвижного калия в почвах.

**Ключевые слова:** подвижный калий, урожайность, азотные удобрения, прибавка урожая, эффективность удобрений.

**DOI:** 10.31857/S0002188124030017, **EDN:** DOBHLW

**ВВЕДЕНИЕ**

Исследования последних лет расширили представления о многофункциональной роли калия в жизнедеятельности культурных растений и повышении их продуктивности. Тем не менее, в нашей стране и Восточно-Европейских странах отмечают определенную недооценку значения этого элемента в земледелии [1, 2]. Несмотря на самый высокий вынос калия урожаями, применяются калийные удобрения по сравнению с азотными намного меньше. В настоящее время в среднем в стране вносят в почву калия 2–3 кг/га пашни, ежегодный дефицит калия в среднем в стране варьирует от 16 до 30 кг  $K_2O$ /га, что в сумме за 25 лет составляет значительную величину.

Известно, что систематическое превышение выноса  $K_2O$  над его поступлением в почву рано или поздно приводит к деградации почв по обеспеченности данным питательным веществом. В первую очередь это касается менее буферных дерново-подзолистых почв, в которых уже сейчас обозначилась устойчивая тенденция к снижению

содержания подвижного калия. В целом в Нечерноземной зоне средневзвешенное содержание подвижного калия за 25 последних лет снизилось на 9, в Центральной ее части — на 7%. В регионах, где преобладают дерново-подзолистые почвы, подобные изменения еще более заметны. В Брянской обл. содержание  $K_2O$  сократилось на 30, во Владимирской — на 27, в Ивановской — на 29, в Костромской — на 21 и в Тверской — на 17% [3]. При этом следует сказать, что эти изменения произошли несмотря на снижение площади обследованной пашни. В Нечерноземной зоне площадь таких почв снизилась на 34%, в отдельных регионах — еще больше. Например, в Ивановской обл. — на 39, в Смоленской — на 59, в Тверской — на 47, в Вологодской — 44 и в Пермском крае — на 50%. Как правило, из оборота выводят менее плодородные почвы, но это не остановило деградацию почв Нечерноземья по степени их обеспеченности подвижным калием.

В более буферных почвах, характеризующихся высоким содержанием подвижного калия (черноземы, каштановые почвы), хотя и допустим небольшой дефицит  $K_2O$  с экономической

и экологической точек зрения [4], но этот процесс не может продолжаться бесконечно. Например, в длительном полевом опыте на обыкновенном черноземе при систематическом дефиците калия в севообороте через 18 лет во второй минимум после азота в посевах кукурузы и озимой пшеницы вместо фосфора перешел калий, поскольку от его внесения прибавка урожая превосходила действие фосфорного удобрения [5].

Все это говорит о том, что несмотря на многостороннее действие калийных удобрений их применение крайне недостаточно, и это приводит к огромному недополучению продукции за счет недобора урожая на полях с низким содержанием подвижного калия в почве.

При обобщении результатов многочисленных полевых опытов и разработке на этой основе нормативной базы, отражающей влияние агрохимических свойств почв на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность применения под них минеральных удобрений, было обращено внимание, что величина сбора урожая и действие азотных удобрений в определенной мере зависят от содержания подвижного калия в почвах. Наряду с этим, в литературных источниках можно встретить информацию, что при систематическом применении минеральных удобрений в различных звеньях севооборота необходимо поддерживать определенное соотношение азота и калия, но при этом не говорится о влиянии содержания подвижного калия на данный процесс. Исследования ВНИИА последних лет позволили оценить влияние запаса  $K_2O$  в различных почвах на урожайность основных зерновых культур, картофеля и льна-долгунца. Статистическая обработка данных многочисленных полевых опытов дала возможность разработать соответствующие нормативы, в которых отражено влияние комплекса агрохимических свойств почв на урожайность и эффективность применения минеральных удобрений под перечисленные культуры, возделываемые в различных почвенно-климатических условиях, и выделить среди них наиболее значимые факторы [5–7].

Цель работы — изучение влияния содержания калия в почве на урожайность основных зерновых культур, картофеля и льна-долгунца, возделываемых на различных почвах.

## МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Для разработки модели прогноза эффективности минеральных удобрений, в том числе и калийных, был использован концептуальный метод моделирования, который достаточно полно характеризует структурные связи в системе почва—растение—удобрение. В этом случае изменения

оптимума одних свойств почв при вариации других обеспечивает возможность обосновано оценить изменчивость прибавок урожайности сельскохозяйственных культур в зависимости от различных сочетаний агрохимических свойств почвы и доз удобрений. На эффективность калийных удобрений в значительной мере оказывает влияние содержание подвижного калия в почве, с его увеличением снижается прибавка от калийных удобрений, но возрастает урожайность в варианте без их внесения. Например, при внесении под озимую пшеницу калийных удобрений 60 кг/га на дерново-подзолистой почве прибавка от калия снижалась при увеличении содержания  $K_2O$  от низкой группы обеспеченности до повышенной на 3.3 ц/га, но при этом урожайность в контроле возрастала на 17.7 ц/га. При этом возрастала также прибавка урожая от внесения азотных удобрений в зависимости от содержания минерального азота в почве — на 3.1–4.2 ц/га при использовании азота в дозе 60 кг/га.

Следовательно, информация, представленная в упомянутых нормативах [4], дает возможность выделить из всего комплекса агрохимических свойств интересующие нас факторы, а именно действие содержания подвижного калия на урожайность сельскохозяйственных культур и эффективность применения под них азотных удобрений.

Полученные данные базируются на математической обработке обширного экспериментального материала, которые позволяют сделать вполне обоснованные выводы о влиянии уровня подвижного калия на урожайность перечисленных культур и эффективность азотных удобрений. Рассмотрим это на примере с озимой пшеницей на дерново-подзолистых почвах. Сначала нормативные материалы заносят в специальную форму, в которой приводятся данные по влиянию содержания подвижного калия на урожайность и ее прибавку от внесения азотных удобрений в различных дозах. В связи с тем, что на эффективность действия азотных удобрений, вносимых под озимую пшеницу, большое влияние может оказать содержание минерального азота в почве, в таблицу заносят также и эти данные. На дерново-подзолистых и серых лесных почвах действие азотных удобрений зависит от степени кислотности, и поэтому в форму предусмотрено включение этого показателя (табл. 1).

В зависимости от биологических особенностей изученных культур форма заполнения исходных данных может изменяться, но основной принцип остается, т.е. выделение данных о влиянии содержания подвижного калия на урожайность и прибавку урожая от азотных удобрений. При обсуждении результатов исследования будут

**Таблица 1.** Влияние содержания подвижного калия в почвах на прибавку урожая пшеницы от применения азотных удобрений (N60), ц/га

| Почвы                                      | Содержание K <sub>2</sub> O |         |               |
|--------------------------------------------|-----------------------------|---------|---------------|
|                                            | низкое                      | среднее | выше среднего |
| <b>Озимая пшеница</b>                      |                             |         |               |
| Дерново-подзолистые                        | 6.7                         | 8.0     | 8.6           |
| Серые лесные                               | 4.4                         | 5.3     | 6.6           |
| Черноземы выщелоченные                     | 3.7                         | 4.2     | 4.2           |
| Черноземы типичные                         | 2.4                         | 2.5     | 3.3           |
| Черноземы карбонатные                      | 2.3                         | 2.4     | 2.5           |
| Каштановые                                 | 1.4                         | 1.7     | 1.7           |
| <b>Яровая пшеница</b>                      |                             |         |               |
| Дерново-подзолистые                        | 4.3                         | 5.2     | 5.5           |
| Серые лесные                               | 2.5                         | 3.0     | 3.1           |
| Черноземы выщелоченные                     | 1.8                         | 2.2     | 2.3           |
| Черноземы обыкновенные и южные             | 1.1                         | 1.3     | 1.6           |
| Лугово-черноземные (Дальневосточный округ) | 2.7                         | 2.9     | 3.0           |

прокомментированы специфические условия, касающиеся биологических особенностей изученных культур.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

*Зерновые культуры.* Изучение влияния содержания подвижного калия в почвах было проведено с основными зерновыми культурами, которые возделывают в нашей стране. В зависимости от биологических особенностей ареал исследований соответствовал этому фактору. Например, в опытах с озимой пшеницей представилась возможность исследовать действие степени обеспеченности почв подвижным калием на 7-ми типах почв, расположенных в европейской части России, яровой пшеницы — на 5-ти, ячменя ярового — на 2-х, озимой ржи и овса — только на дерново-подзолистых почвах. В самом общем виде влияние содержания подвижного калия на эффективность внесенных под озимую и яровую пшеницу азотных удобрений выглядит следующим образом. Наиболее высокая прибавка урожая получена на дерново-подзолистых и серых лесных почвах, на черноземных почвах прирост урожая от азотных удобрений был гораздо меньше, особенно яровой пшеницы.

Еще более заметно прослежено влияние содержания подвижного калия в почвах на урожайность озимой и яровой пшеницы, а также эффективность применения под них азотных удобрений, на примерах, представляющих ту или иную почвенную разновидность. На дерново-подзолистых почвах урожайные данные в контрольном варианте и прибавки урожая были дифференцированы

по содержанию подвижного калия на фоне различной кислотности и содержания минерального азота в почве. В данном случае речь идет об озимой пшенице. Это позволило оценить влияние степени обеспеченности дерново-подзолистых почв K<sub>2</sub>O при различной агрохимической окультуренности почв как на урожайность озимой пшеницы, так и на эффективность применения под нее азотных удобрений (табл. 2).

Из представленных данных следует, что увеличение содержания подвижного калия в дерново-подзолистых почвах способствует значительному приросту урожайности озимой пшеницы в варианте без внесения азотных удобрений. Величина прибавки при этом возрастала также при увеличении обеспеченности почв минеральным азотом и снижении степени из кислотности. При содержании минерального азота <5 мг/кг прирост урожая составил при pH <5.5—4.4 ц/га, а при содержании > 10 мг/кг — 8.7 ц/га. Это наблюдали на почвах, которые характеризовались величиной pH <5.5. При переходе их в менее кислую категорию (pH >5.5) эти показатели составляли соответственно 4.9 и 9.6 ц/га, т.е. были больше по сравнению с более кислыми почвами.

Аналогичные данные получены также на серых лесных почвах, показатели урожайности озимой пшеницы в контрольном варианте несколько превышали показатели, полученные на дерново-подзолистых почвах (табл. 3).

В то же время, действие азотных удобрений на серых лесных почвах было менее эффективно по сравнению с дерново-подзолистыми, но достаточно детектируемо, особенно в вариантах,

**Таблица 2.** Влияние содержания подвижного калия на урожайность озимой пшеницы и эффективность азотных удобрений на дерново-подзолистых почвах

| Содержание K <sub>2</sub> O<br>в почве, мг/кг    | Урожайность без<br>удобрений, ц/га | Прибавка урожайности, ц/га |      |      |      |
|--------------------------------------------------|------------------------------------|----------------------------|------|------|------|
|                                                  |                                    | Дозы азота, кг/га          |      |      |      |
|                                                  |                                    | 30                         | 60   | 90   | 120  |
| pH ≤ 5.5                                         |                                    |                            |      |      |      |
| Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг   |                                    |                            |      |      |      |
| ≤80                                              | 9.6                                | 6.6                        | 7.6  | 8.0  | 7.8  |
| 81–120                                           | 13.4                               | 7.8                        | 8.8  | 9.2  | 9    |
| >120                                             | 14.0                               | 8.2                        | 9.2  | 9.6  | 9.4  |
| Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг |                                    |                            |      |      |      |
| ≤80                                              | 12.1                               | 6.0                        | 6.9  | 7.2  | 7.0  |
| 81–120                                           | 16.1                               | 7.1                        | 8.0  | 8.3  | 8.1  |
| >120                                             | 19.5                               | 7.5                        | 8.4  | 8.7  | 8.5  |
| Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг  |                                    |                            |      |      |      |
| ≤ 80                                             | 19.1                               | 4.8                        | 5.6  | 5.8  | 5.7  |
| 81–120                                           | 23.0                               | 5.7                        | 6.5  | 6.7  | 6.6  |
| >120                                             | 27.8                               | 6.0                        | 6.8  | 7.1  | 6.9  |
| pH >5.5                                          |                                    |                            |      |      |      |
| Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг   |                                    |                            |      |      |      |
| ≤80                                              | 10.6                               | 8.2                        | 9.4  | 9.9  | 9.6  |
| 81–120                                           | 12.7                               | 9.6                        | 10.9 | 11.4 | 11.1 |
| >120                                             | 15.5                               | 10.2                       | 11.4 | 11.9 | 11.6 |
| Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг |                                    |                            |      |      |      |
| ≤80                                              | 14.9                               | 8.4                        | 8.6  | 9.0  | 8.7  |
| 81–120                                           | 17.9                               | 8.8                        | 9.9  | 10.4 | 10.1 |
| >120                                             | 21.7                               | 9.3                        | 10.4 | 10.8 | 10.5 |
| Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг  |                                    |                            |      |      |      |
| ≤80                                              | 21.3                               | 6.0                        | 6.9  | 7.3  | 7.1  |
| 81–120                                           | 25.6                               | 7.1                        | 8.0  | 8.4  | 8.2  |
| >120                                             | 30.9                               | 7.5                        | 8.4  | 8.8  | 8.5  |

которые характеризовались менее кислой реакцией почвенной среды.

Анализ материала, полученного по результатам обобщения опытов, проведенных на выщелоченных черноземах, показал, что на этих почвах влияние содержания подвижного калия на урожайность озимой пшеницы оказалось достаточно высоким. Переход выщелоченных черноземов из категории низкообеспеченных подвижным калием в повышенную способствовал заметному повышению урожайности озимой пшеницы без внесения азотных удобрений. Это в равной степени относится к вариантам с различной степенью обеспеченности минеральным азотом независимо от географического расположения, т.е. на территории Центрального, Южного и Северо-Кавказского федеральных

округов. При этом полученные результаты практически мало отличались друг от друга (табл. 4).

Вместе с тем действие азотных удобрений на урожайность озимой пшеницы проявилось несколько иначе, поскольку эффект от их внесения был больше на черноземах выщелоченных Центрального федерального округа. Наиболее заметно эта разница проявилась на почвах, где содержание минерального азота превышало 10 мг/кг.

В опытах с яровой пшеницей прослеживается та же закономерность во влиянии содержания подвижного калия на урожайность этой культуры без внесения под нее азотных удобрений, хотя эти эксперименты были проведены в иных природно-климатических условиях. В этом случае прослежена такая же закономерность, что и в опытах

**Таблица 3.** Влияние содержания подвижного калия на урожайность озимой пшеницы и эффективность азотных удобрений на серых лесных почвах, ц/га

| Содержание K <sub>2</sub> O<br>в почве, мг/кг    | Урожайность<br>без удобрений,<br>ц/га | Прибавка урожайности, ц/га |     |     |     |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------|----------------------------|-----|-----|-----|
|                                                  |                                       | дозы азота, кг/га          |     |     |     |
|                                                  |                                       | 30                         | 60  | 90  | 120 |
| pH ≤ 5.5                                         |                                       |                            |     |     |     |
| Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг   |                                       |                            |     |     |     |
| ≤80                                              | 10.8                                  | 5.3                        | 6.0 | 6.3 | 6.1 |
| 81–120                                           | 12.9                                  | 6.3                        | 7.0 | 7.3 | 7.1 |
| >120                                             | 14.9                                  | 6.9                        | 7.6 | 7.8 | 7.7 |
| Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг |                                       |                            |     |     |     |
| ≤80                                              | 15.2                                  | 4.1                        | 4.6 | 4.8 | 4.7 |
| 81–120                                           | 18                                    | 4.9                        | 5.4 | 5.6 | 5.5 |
| >120                                             | 20.8                                  | 5.3                        | 5.8 | 6.0 | 5.9 |
| Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг  |                                       |                            |     |     |     |
| ≤80                                              | 21.6                                  | 3.3                        | 3.7 | 3.8 | 3.7 |
| 81–120                                           | 25.8                                  | 3.9                        | 4.3 | 4.4 | 4.3 |
| >120                                             | 29.7                                  | 4.2                        | 4.6 | 4.8 | 4.7 |
| pH > 5.5                                         |                                       |                            |     |     |     |
| Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг   |                                       |                            |     |     |     |
| ≤80                                              | 12.2                                  | 6.2                        | 6.9 | 7.3 | 7.0 |
| 81–120                                           | 14.5                                  | 7.3                        | 8.1 | 8.4 | 8.2 |
| >120                                             | 16.7                                  | 7.9                        | 8.8 | 9.0 | 8.9 |
| Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг |                                       |                            |     |     |     |
| ≤80                                              | 17.1                                  | 4.7                        | 5.3 | 5.6 | 5.4 |
| 81–120                                           | 20.3                                  | 5.6                        | 6.2 | 6.5 | 6.3 |
| >120                                             | 23.4                                  | 7.9                        | 6.7 | 6.9 | 6.8 |
| Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг  |                                       |                            |     |     |     |
| ≤80                                              | 24.4                                  | 3.8                        | 4.3 | 4.5 | 4.6 |
| 81–120                                           | 29.0                                  | 4.5                        | 5.0 | 5.2 | 5.0 |
| >120                                             | 33.5                                  | 4.9                        | 5.4 | 5.5 | 5.5 |

с озимой пшеницей, т.е. повышение урожайности при улучшении калийного режима почв. В наибольшей степени это наблюдали на дерново-подзолистых почвах, где прирост урожая составил 5.4 ц/га, тогда как на серых лесных – 2.2–3.4 ц/га в зависимости от региона, на черноземах выщелоченных и на почвах Дальневосточного федерального округа – 2.1 ц/га (табл. 5).

Эффект от применения азотных удобрений также возрастал при повышении обеспеченности почв подвижным калием, а наибольшая прибавка получена на дерново-подзолистых почвах, далее идут серые лесные обоих федеральных округов, почвы Дальневосточного федерального округа и черноземы выщелоченные.

**Картофель.** Биологические особенности картофеля таковы, что он способен употребить большое количество питательных веществ, но вследствие относительно слабой корневой системы не может их усваивать из нижних горизонтов почвы, поэтому для формирования высоких урожаев он нуждается во внесении удобрений, особенно в Нечерноземной зоне. Доля участия минеральных удобрений в формировании урожая картофеля составляет в зависимости от зоны 33–46%, из которых 33–46% приходится на азотные удобрения. Основным источником питания картофеля является почва, поскольку по сравнению с зерновыми культурами он в большей степени использует питательные вещества из почвенных запасов, в связи с этим повышение калийного уровня почв подвижным калием способствует увеличению отдачи

**Таблица 4.** Влияние содержания подвижного калия на урожайность озимой пшеницы и эффективность азотных удобрений на выщелоченных черноземах, ц/га

| Содержание K <sub>2</sub> O<br>в почве, мг/кг    | Урожайность<br>без удобрений,<br>ц/га | Прибавка урожайности от азотных удобрений |     |     |     |
|--------------------------------------------------|---------------------------------------|-------------------------------------------|-----|-----|-----|
|                                                  |                                       | дозы азота, кг/га                         |     |     |     |
|                                                  |                                       | 30                                        | 60  | 90  | 120 |
| Центральный федеральный округ                    |                                       |                                           |     |     |     |
| Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг   |                                       |                                           |     |     |     |
| ≤80                                              | 15.0                                  | 4.5                                       | 5.8 | 6.2 | 5.9 |
| 81–120                                           | 17.7                                  | 5.6                                       | 6.5 | 6.9 | 6.7 |
| >120                                             | 18.7                                  | 6.3                                       | 7.2 | 7.6 | 7.4 |
| Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг |                                       |                                           |     |     |     |
| ≤80                                              | 21.0                                  | 3.7                                       | 4.4 | 4.7 | 4.6 |
| 81–120                                           | 24.8                                  | 4.3                                       | 5.2 | 5.3 | 5.1 |
| >120                                             | 26.2                                  | 4.9                                       | 5.5 | 5.7 | 5.7 |
| Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг  |                                       |                                           |     |     |     |
| ≤80                                              | 30.0                                  | 3.0                                       | 3.6 | 3.8 | 3.7 |
| 81–120                                           | 35.2                                  | 3.4                                       | 4.0 | 4.2 | 4.1 |
| >120                                             | 37.1                                  | 3.9                                       | 4.4 | 4.7 | 4.5 |
| Южный и Северо-Кавказский федеральные округа     |                                       |                                           |     |     |     |
| Содержание минерального азота в почве ≤5 мг/кг   |                                       |                                           |     |     |     |
| ≤80                                              | 15.2                                  | 4.5                                       | 5.2 | 5.6 | 5.4 |
| 81–120                                           | 16.8                                  | 4.9                                       | 5.6 | 6.0 | 5.8 |
| >120                                             | 18.8                                  | 5.1                                       | 5.7 | 6.0 | 5.8 |
| Содержание минерального азота в почве 5–10 мг/кг |                                       |                                           |     |     |     |
| ≤80                                              | 22.5                                  | 3.5                                       | 4.0 | 4.3 | 4.1 |
| 81–120                                           | 25.1                                  | 3.8                                       | 4.4 | 4.6 | 4.5 |
| >120                                             | 27.8                                  | 3.8                                       | 4.1 | 4.6 | 4.5 |
| Содержание минерального азота в почве >10 мг/кг  |                                       |                                           |     |     |     |
| ≤80                                              | 29.2                                  | 2.5                                       | 2.8 | 3.0 | 2.9 |
| 81–120                                           | 32.7                                  | 2.7                                       | 3.0 | 3.2 | 3.1 |
| >120                                             | 36.1                                  | 2.7                                       | 3.1 | 3.2 | 3.1 |

от азотных удобрений. В опытах с картофелем для диагностики азотного питания определяли, в отличие от зерновых культур, не содержание минерального, а легкогидролизуемого азота по методу Корнфилда. В связи с этим действие подвижного калия в почвах изучали по различной степени обеспеченности почв этой формой азота. Анализ полученного материала свидетельствовал о том, что повышение содержания подвижного калия в почве от низкого до повышенного уровня существенно влияло на урожайность картофеля, полученного без внесения удобрений, и увеличивало эффективность азотных удобрений.

На дерново-подзолистых суглинистых почвах урожайность картофеля составила в варианте с низким содержанием K<sub>2</sub>O – 105 ц/га, с повышенным – 157, т.е. прирост составил 52 ц/га. На серых

лесных почвах отмечена аналогичная ситуация, хотя урожайность несколько превышала таковую, полученную на дерново-подзолистых почвах. При низком запасе подвижного калия и легкогидролизуемого азота сбор клубней составил 116 ц/га, при повышенной обеспеченности K<sub>2</sub>O и азотом – 182 ц/га. Действие азотных удобрений возрастало при увеличении содержания K<sub>2</sub>O в почвах. Это относится как к дерново-подзолистым, так и к серым лесным почвам. Разница состояла лишь в том, что на первых прирост урожайности заметно превышал другую почвенную разновидность. Одновременно с повышением содержания легкогидролизуемого азота снижалась отдача от применения азотных удобрений, причем в большей степени это относилось к серым лесным почвам. Вместе с тем суммарная урожайность, полученная за счет

Таблица 5. Влияние содержания подвижного калия на урожайность яровой пшеницы и эффективность азотных удобрений

| Содержание K <sub>2</sub> O<br>в почве, мг/кг | Урожайность<br>без удобрений,<br>ц/га | Прибавка урожая, ц/га |     |     |     |
|-----------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|
|                                               |                                       | дозы азота, кг/га     |     |     |     |
|                                               |                                       | 30                    | 60  | 90  | 120 |
| Центральный и Приволжский Федеральные округа  |                                       |                       |     |     |     |
| Дерново-подзолистые почвы                     |                                       |                       |     |     |     |
| ≤80                                           | 15.5                                  | 4.2                   | 4.8 | 5.3 | 5.2 |
| 81–120                                        | 17.1                                  | 5.2                   | 5.7 | 6.0 | 5.8 |
| >120                                          | 20.9                                  | 5.5                   | 6.0 | 6.2 | 6.1 |
| Серые лесные почвы                            |                                       |                       |     |     |     |
| ≤80                                           | 18.1                                  | 2.5                   | 2.8 | 2.9 | 2.8 |
| 81–120                                        | 19.3                                  | 3.0                   | 3.2 | 3.4 | 3.3 |
| >120                                          | 20.3                                  | 3.1                   | 3.4 | 3.5 | 3.5 |
| Черноземы выщелоченные                        |                                       |                       |     |     |     |
| ≤80                                           | 17.0                                  | 1.8                   | 2.0 | 2.0 | 2.0 |
| 81–120                                        | 18.0                                  | 2.2                   | 2.4 | 2.4 | 2.4 |
| >120                                          | 19.1                                  | 2.3                   | 2.4 | 2.5 | 2.5 |
| Уральский Федеральный округ                   |                                       |                       |     |     |     |
| Серые лесные почвы                            |                                       |                       |     |     |     |
| ≤80                                           | 15                                    | 3.2                   | 3.7 | 3.9 | 3.8 |
| 81–120                                        | 16.7                                  | 3.8                   | 4.3 | 4.5 | 4.4 |
| >120                                          | 18.4                                  | 3.9                   | 4.4 | 4.6 | 4.5 |
| Дальневосточный федеральный округ             |                                       |                       |     |     |     |
| Лугово-черноземные, черноземовидные почвы     |                                       |                       |     |     |     |
| ≤80                                           | 13.4                                  | 2.5                   | 3.1 | 3.3 | 3.2 |
| 81–120                                        | 14.4                                  | 2.9                   | 3.3 | 3.5 | 3.4 |
| >120                                          | 15.5                                  | 3.0                   | 3.4 | 3.6 | 3.5 |

улучшения калийного режима почв и прибавки от внесения азотных удобрений, превышала показатели, которые были зафиксированы на почвах с низкой степенью обеспеченности подвижным калием и легкогидролизуемым азотом (табл. 6).

Серые лесные почвы по величине суммарной урожайности несколько превосходили дерново-подзолистые суглинистые почвы. При агрохимическом окультуривании дерново-подзолистых и серых лесных почв на 28–36% возрастает сбор картофеля с каждого га посадочной площади.

*Лен-долгунец.* Азотные удобрения также играют немаловажную роль в повышении урожайности льна-долгунца. В отличие от зерновых культур и картофеля, в силу своих биологических особенностей, лен возделывают в основном на дерново-подзолистых почвах, в которых азот находится в первом минимуме, поэтому применение азотных удобрений может дать хороший эффект. В то же время лен более чувствителен к повышенной

концентрации почвенного раствора по сравнению с другими культурами. В питательной среде льну-долгунцу необходимо более широкое соотношение между азотом и калием [8, 9]. Вместе с тем дозы азота, превышающие 45 кг/га, могут вызывать полегание растений, что ведет к снижению урожайности и качества льна-долгунца. Среди льносеющих областей приблизительно 1/3 и более характеризуется низким содержанием подвижного калия в почвах. Примерно столько насчитывается площадей со средним содержанием K<sub>2</sub>O. Еще одна особенность льна-долгунца – это его реакция на содержание гумуса в почве. На почвах с более высоким содержанием гумуса повышается урожайность льна-долгунца, но при этом снижается ее прибавка от азотных удобрений. Кроме того, на урожайность льна-долгунца немалое значение имеет культура-предшественник. При возделывании культуры после многолетних бобово-злаковых трав улучшается азотный режим почвы и, как следствие, повышается урожайность и снижается эффективность

**Таблица 6.** Влияние содержания подвижного калия на урожайность картофеля и эффективность азотных удобрений на дерново-подзолистых и серых лесных почвах

| Содержание K <sub>2</sub> O<br>в почве, мг/кг             | Урожайность<br>без удобрений,<br>ц/га | Прибавка урожая, ц/га |    |     |     |
|-----------------------------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|----|-----|-----|
|                                                           |                                       | дозы азота, кг/га     |    |     |     |
|                                                           |                                       | 60                    | 90 | 120 | 150 |
| Дерново-подзолистые суглинистые почвы                     |                                       |                       |    |     |     |
| Содержание легкогидролизуемого азота в почве ≤50 мг/кг    |                                       |                       |    |     |     |
| ≤80                                                       | 105                                   | 43                    | 47 | 50  | 53  |
| 81–120                                                    | 107                                   | 50                    | 53 | 56  | 60  |
| 121–170                                                   | 108                                   | 54                    | 58 | 61  | 64  |
| >170                                                      | 110                                   | 57                    | 61 | 64  | 67  |
| Содержание легкогидролизуемого азота в почве 51–100 мг/кг |                                       |                       |    |     |     |
| ≤80                                                       | 131                                   | 25                    | 28 | 31  | 34  |
| 81–120                                                    | 134                                   | 31                    | 34 | 38  | 41  |
| 121–170                                                   | 136                                   | 36                    | 39 | 42  | 45  |
| >170                                                      | 138                                   | 39                    | 42 | 45  | 48  |
| Содержание легкогидролизуемого азота в почве ≤50 мг/кг    |                                       |                       |    |     |     |
| ≤80                                                       | 149                                   | 22                    | 25 | 28  | 31  |
| 81–120                                                    | 152                                   | 28                    | 32 | 35  | 38  |
| 121–170                                                   | 154                                   | 33                    | 36 | 39  | 42  |
| >170                                                      | 157                                   | 36                    | 39 | 42  | 45  |
| Серые лесные почвы                                        |                                       |                       |    |     |     |
| Содержание легкогидролизуемого азота в почве ≤50 мг/кг    |                                       |                       |    |     |     |
| ≤80                                                       | 116                                   | 37                    | 38 | 39  | 40  |
| 81–120                                                    | 141                                   | 38                    | 40 | 41  | 42  |
| 121–170                                                   | 147                                   | 39                    | 41 | 42  | 43  |
| >170                                                      | 151                                   | 40                    | 42 | 43  | 43  |
| Содержание легкогидролизуемого азота в почве 51–100 мг/кг |                                       |                       |    |     |     |
| ≤80                                                       | 141                                   | 32                    | 34 | 35  | 36  |
| 81–120                                                    | 169                                   | 33                    | 36 | 36  | 38  |
| 121–170                                                   | 175                                   | 34                    | 36 | 37  | 38  |
| >170                                                      | 180                                   | 35                    | 37 | 38  | 39  |
| Содержание легкогидролизуемого азота в почве ≤100 мг/кг   |                                       |                       |    |     |     |
| ≤80                                                       | 148                                   | 22                    | 24 | 26  | 26  |
| 81–120                                                    | 156                                   | 24                    | 27 | 28  | 29  |
| 121–170                                                   | 179                                   | 26                    | 28 | 29  | 29  |
| >170                                                      | 182                                   | 26                    | 28 | 29  | 30  |

азотных удобрений по сравнению с зерновыми предшественниками. Это хорошо видно на представленном материале (табл. 7, 8).

Содержание гумуса достаточно ощутимо влияло на прирост урожайности льна-долгунца, возделываемого как после зернового предшественника, так и после многолетних трав. Однако влияние содержания подвижного калия в почве на прирост урожайности проявилось по-разному.

После зернового предшественника прибавка урожая за счет улучшения калийного режима почв превосходила таковую там, где лен возделывали после многолетних бобово-злаковых трав.

Эффект от внесения азотных удобрений в большей степени проявился в опытах, где лен-долгунец возделывали после зерновых культур. При этом разница в прибавке урожая от увеличения обеспеченности почв подвижным калием оказалась

Таблица 7. Влияние содержания подвижного калия в дерново-подзолистых почвах на урожайность льна-долгунца и эффективность азотных удобрений в Северо-Западном федеральном округе

| рН, ед.                            | Содержание<br>K <sub>2</sub> O, мг/кг | Урожайность без<br>удобрений, ц/га | Прибавка урожая, ц/га |     |     |     |
|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|
|                                    |                                       |                                    | дозы азота, кг/га     |     |     |     |
|                                    |                                       |                                    | 20                    | 40  | 60  | 80  |
| Предшественник – зерновые культуры |                                       |                                    |                       |     |     |     |
| Содержание гумуса ≤1.5%            |                                       |                                    |                       |     |     |     |
| ≤5.0                               | ≤40                                   | 18.0                               | 4.0                   | 5.4 | 5.6 | 4.6 |
|                                    | 41–80                                 | 21.5                               | 4.3                   | 5.8 | 6.0 | 4.9 |
|                                    | 81–120                                | 23.9                               | 4.4                   | 5.9 | 6.1 | 5.1 |
|                                    | 121–170                               | 25.4                               | 4.5                   | 5.9 | 6.2 | 5.1 |
| 5.1–5.5                            | ≤40                                   | 20.7                               | 4.4                   | 5.8 | 6.1 | 5.0 |
|                                    | 41–80                                 | 24.2                               | 4.7                   | 6.2 | 6.4 | 5.3 |
|                                    | 81–120                                | 26.6                               | 4.9                   | 6.3 | 6.5 | 5.5 |
|                                    | 121–170                               | 28.1                               | 4.9                   | 6.4 | 6.6 | 5.5 |
| Содержание гумуса 1.5–2.0%         |                                       |                                    |                       |     |     |     |
| ≤5.0                               | ≤40                                   | 18.9                               | 3.0                   | 4.1 | 4.3 | 3.4 |
|                                    | 41–80                                 | 22.3                               | 3.3                   | 4.4 | 4.6 | 3.8 |
|                                    | 81–120                                | 24.8                               | 3.5                   | 4.6 | 4.8 | 3.9 |
|                                    | 121–170                               | 26.3                               | 3.5                   | 4.6 | 4.8 | 4.0 |
| 5.1–6.0                            | ≤40                                   | 21.6                               | 3.4                   | 4.5 | 4.7 | 3.9 |
|                                    | 41–80                                 | 25.0                               | 3.7                   | 4.8 | 5.0 | 4.2 |
|                                    | 81–120                                | 27.5                               | 3.9                   | 5.0 | 5.2 | 4.3 |
|                                    | 121–170                               | 29.0                               | 3.9                   | 5.0 | 5.2 | 4.4 |
| Содержание гумуса >2.0%            |                                       |                                    |                       |     |     |     |
| ≤5.0                               | ≤40                                   | 20.3                               | 2.3                   | 3.1 | 3.2 | 2.7 |
|                                    | 41–80                                 | 23.8                               | 2.7                   | 3.4 | 3.5 | 3.0 |
|                                    | 81–120                                | 26.2                               | 2.8                   | 3.6 | 3.7 | 3.2 |
|                                    | 121–170                               | 27.7                               | 2.9                   | 3.6 | 3.7 | 3.2 |
| 5.1–6.0                            | ≤40                                   | 23.0                               | 2.7                   | 3.5 | 3.6 | 3.1 |
|                                    | 41–80                                 | 26.5                               | 3.1                   | 3.8 | 3.9 | 3.4 |
|                                    | 81–120                                | 28.9                               | 3.2                   | 4.0 | 4.1 | 3.6 |
|                                    | 121–170                               | 30.4                               | 3.3                   | 4.0 | 4.1 | 3.6 |

Таблица 8. Влияние содержания подвижного калия в дерново-подзолистых почвах на урожайность льна-долгунца и эффективность азотных удобрений в Северо-Западном федеральном округе

| рН, ед.                            | Содержание<br>K <sub>2</sub> O, мг/кг | Урожайность без<br>удобрений, ц/га | Прибавка урожая, ц/га |     |     |     |
|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|
|                                    |                                       |                                    | дозы азота, кг/га     |     |     |     |
|                                    |                                       |                                    | 20                    | 40  | 60  | 80  |
| Предшественник – многолетние травы |                                       |                                    |                       |     |     |     |
| Содержание гумуса ≤1.5%            |                                       |                                    |                       |     |     |     |
| ≤5.0                               | ≤40                                   | 18.4                               | 2.5                   | 2.5 | 2.1 | 1.4 |
|                                    | 41–80                                 | 20.4                               | 2.8                   | 2.8 | 2.4 | 1.6 |
|                                    | 81–120                                | 21.3                               | 2.9                   | 2.9 | 2.5 | 1.8 |
|                                    | 121–170                               | 21.2                               | 2.9                   | 2.9 | 2.5 | 1.8 |

Таблица 8. Окончание

| рН, ед.                            | Содержание<br>K <sub>2</sub> O, мг/кг | Урожайность без<br>удобрений, ц/га | Прибавка урожая, ц/га |     |     |     |
|------------------------------------|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|-----|-----|-----|
|                                    |                                       |                                    | дозы азота, кг/га     |     |     |     |
|                                    |                                       |                                    | 20                    | 40  | 60  | 80  |
| Предшественник – многолетние травы |                                       |                                    |                       |     |     |     |
| Содержание гумуса ≤1.5%            |                                       |                                    |                       |     |     |     |
| 5.1–5.5                            | ≤40                                   | 19.8                               | 2.6                   | 2.5 | 2.2 | 1.4 |
|                                    | 41–80                                 | 21.8                               | 2.8                   | 2.8 | 2.4 | 1.7 |
|                                    | 81–120                                | 22.8                               | 3.0                   | 3.0 | 2.6 | 1.8 |
|                                    | 121–170                               | 22.6                               | 3.0                   | 3.0 | 2.6 | 1.8 |
| Содержание гумуса 1.5–2.0%         |                                       |                                    |                       |     |     |     |
| ≤5.0                               | ≤40                                   | 22.8                               | 2.4                   | 2.3 | 2.0 | 1.2 |
|                                    | 41–80                                 | 24.8                               | 2.6                   | 2.6 | 2.2 | 1.5 |
|                                    | 81–120                                | 25.8                               | 2.8                   | 2.8 | 2.4 | 1.6 |
|                                    | 121–170                               | 25.7                               | 2.8                   | 2.8 | 2.4 | 1.6 |
| 5.1–5.5                            | ≤40                                   | 24.2                               | 2.4                   | 2.4 | 2.0 | 1.3 |
|                                    | 41–80                                 | 26.2                               | 2.7                   | 2.7 | 2.3 | 1.5 |
|                                    | 81–120                                | 27.2                               | 2.8                   | 2.8 | 2.4 | 1.7 |
|                                    | 121–170                               | 27.1                               | 2.8                   | 2.8 | 2.4 | 1.7 |
| Содержание гумуса >2.0%            |                                       |                                    |                       |     |     |     |
| ≤5.0                               | ≤40                                   | 30.6                               | 1.9                   | 1.8 | 1.5 | 0.7 |
|                                    | 41–80                                 | 32.6                               | 2.1                   | 2.1 | 1.7 | 1.0 |
|                                    | 81–120                                | 33.6                               | 2.3                   | 2.3 | 1.9 | 1.1 |
|                                    | 121–170                               | 33.5                               | 2.3                   | 2.3 | 1.9 | 1.1 |
| 5.1–5.5                            | ≤40                                   | 32.0                               | 1.9                   | 1.9 | 1.5 | 0.8 |
|                                    | 41–80                                 | 34.0                               | 2.2                   | 2.2 | 1.8 | 1.0 |
|                                    | 81–120                                | 35.0                               | 2.3                   | 2.3 | 1.9 | 1.2 |
|                                    | 121–170                               | 34.9                               | 2.3                   | 2.3 | 1.9 | 1.2 |

невысокой. В большей степени на изменение данного показателя повлияло содержание гумуса. Наиболее высокие урожаи получены при возделывании льна-долгунца после бобово-злаковых трав при содержании гумуса >2%.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты исследования свидетельствуют о том, что уровень содержания подвижного калия играет важную роль в повышении урожайности сельскохозяйственных культур и эффективности применения под них азотных удобрений. Согласно полученным данным, наилучший эффект был получен на почвах Нечерноземной зоны, включая дерново-подзолистые, серые лесные и черноземы выщелоченные. Среди изученных культур выделялась озимая пшеница, которая лучше других реагировала на увеличение содержания подвижного калия в почве, а также и на внесение азотных

удобрений. На дерново-подзолистых и серых почвах ее урожайность возрастала в 3 раза, на черноземах выщелоченных — в 2.5 раза, тогда как на таких же почвах урожайность яровой пшеницы увеличивалась в 1.2–1.3 раза, картофеля — в 1.5 раза и льна-долгунца в зависимости от предшественника — в 1.7–1.9 раза.

Проведенные исследования позволили также установить еще одну важную функцию калийных удобрений и обосновать влияние подвижного калия, накопленного в почвах в результате систематического внесения калийных удобрений, на эффективность применения азотных удобрений. Это дает возможность компенсировать недобор урожая от калийных удобрений, который образуется на почвах, повышенно- или высокообеспеченных подвижным калием. Согласно полученным данным, средняя прибавка урожая на почвах, где содержание K<sub>2</sub>O превышало 120 мг/кг, составила на дерново-подзолистых почвах 8.6, на серых

лесных — 6.6, на черноземах выщелоченных — 4,2 ц/га, тогда как от калийных удобрений соответственно 0.5, 1.6 и 0.6 ц/га [10]. Аналогичные данные получены и для других культур.

Следовательно, при определении потребности в калийных удобрениях необходимо ориентироваться не только на получение запланированного урожая, но и повышение калийного уровня почв с низким содержанием  $K_2O$ .

#### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Минеев В.Г.* Агрохимия и экологические функции калия. М.: Изд-во МГУ, 1999, 329 с.
2. *Прокошев В.В., Дерюгин И.П.* Калий и калийные удобрения. Прак. рук-во. М.: Ледум, 2000, 185 с.
3. *Шафран С.А., Ермаков А.А., Виноградова С.Б., Семенов А.И.* Изменение плодородия почв Нечерноземной зоны за 50-летний период // Агрохим. вестн. 2021. № 5. С. 3–7.
4. *Чичкин А.П.* Агроэкологические основы воспроизводства почвенного плодородия и формирования урожая на обыкновенных черноземах Среднего Заволжья: Автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. 1999, 57 с.
5. Региональные нормативы окупаемости минеральных удобрений прибавкой урожая зерновых культур. М.: ВНИИА, 2016. 96 с.
6. Рекомендации. Как с наибольшей пользой применить удобрения под картофель. М.: ВНИИА, 2015. 40 с.
7. Система оценки влияния агрохимических факторов на формирование урожайности льна-долгунца. М.: ВНИИА, 2016. 124 с.
8. *Небольсин А.Н., Небольсина З.П., Поляков В.А., Покровская Г.П., Шулегина М.В., Рысев М.Н.* Научно-методические основы оптимизации доз удобрений под основные сельскохозяйственные культуры по агрохимическим, экономическим и экологическим параметрам / Под ред. А.Н. Небольсина. СПб.: ЛНИИСХ, 2003. 75 с.
9. *Петрова Л.И., Анюшина Т.Г.* Оптимальные параметры агрохимических свойств окультуренной дерново-подзолистой почвы в льняном севообороте // Сб. научн. тр. ВНИИА. Вып. XXIII. 1986. С. 92–101.
10. *Шафран С.А.* Влияние содержания подвижного калия в почвах на урожайность зерновых культур и затраты калийных удобрений на ее формирование // Агрохимия. 2023. № 4. С. 3–10.

## Importance of Providing Soils with Mobile Potassium in Increasing the Yield and Efficiency of Nitrogen Fertilizers

S. A. Saffran<sup>#</sup>

*Pryanishnikov All-Russian Scientific Research Institute of Agrochemistry,  
ul. Pryanishnikova 31a, Moscow 127550, Russia*

<sup>#</sup>*E-mail: shafran38@mail.ru*

The results of a study devoted to the study of the effect of the content of mobile potassium in various soils on the yield of major crops and the effectiveness of the use of nitrogen fertilizers for them are presented. According to the data obtained, the availability of mobile potassium in soils plays a very significant role in increasing the yield of cereals, potatoes and flax. To the greatest extent, this affected sod-podzolic soils, on which the yield increase was higher due to an increase in their potash level and a higher return on nitrogen fertilizers. Among the studied crops, winter wheat stood out, which reacts better than others not only to an increase in the  $K_2O$  content in the soil, but also in general to their agrochemical cultivation. On sod-podzolic and gray forest soils, its yield increased 3 times, on leached chernozems — 2.5 times, whereas on the same soils, the yield of spring wheat increased 1.2–1.3 times, potatoes — 1.5 times and flax, depending on the predecessor — 1.7–1.9 times. The dependence of the efficiency of nitrogen fertilizers on the content of mobile potassium in soils has been established.

**Keywords:** mobile potassium, yield, nitrogen fertilizers, yield increase, fertilizer efficiency.