



## ЭФФЕКТИВНОСТЬ УДОБРЕНИЙ НА ПОСЕВАХ ПШЕНИЦЫ В СЕВЕРО-ЗАПАДНОЙ ЗОНЕ КУРГАНСКОЙ ОБЛАСТИ

Ионина Н.В., (✉) Волынкина О.В.

Уральский федеральный аграрный научно-исследовательский центр

Уральского отделения Российской академии наук

Екатеринбург, Россия

(✉) e-mail: volynkina.o@bk.ru

Представлены результаты длительного (1968–2021 гг.) эксперимента по применению удобрений за 10-ю и 11-ю ротации зернопарового севооборота на опытном поле Курганской области. Севооборот включал пар и три пшеницы. Эффективность удобрения различалась в зависимости от комбинации элементов питания, места пшеницы в севообороте и условий увлажнения периода вегетации. На тяжелосуглинистом выщелоченном черноземе опытного поля в этих ротациях проявилось умеренное действие фосфорного удобрения и высокое – азотного на посевах, удаленных от пара. Сочетание азотного и фосфорного удобрений давало более высокую прибавку урожайности. Азотное удобрение оказывало положительное влияние и на качество пшеницы, повышая содержание клейковины и массу 1000 зерен. С увеличением накопления клейковины в зерне пшеницы на фоне азотного удобрения повышалась повторяемость соответствия качества пшеницы требованиям к 3-му классу зерна. Проявилось действие удобрений и длительности их применения на агрохимические свойства почвы. Заметнее с применением удобрений повышалось содержание подвижных питательных веществ в почве, гумуса, общего содержания азота и фосфора, но при этом снизилось значение  $pH_{\text{сол}}$ . Высокая экономическая эффективность относилась к азотному удобрению, вносимому на второй и третьей пшенице после пара с окупаемостью 1 кг азота 12–19 кг зерна. Действие фосфорного удобрения было умеренным, поскольку содержание подвижного  $P_2O_5$  в пахотном слое почвы оставалось высоким. Сильнее применение аммофоса влияло на урожайность пшеницы при хорошей обеспеченности растений азотом на первом посеве по пару.

**Ключевые слова:** северо-западная зона Курганской области, выщелоченный чернозем, состав удобрения, зернопаровой севооборот, урожайность пшеницы, качество зерна

## FERTILIZER EFFICIENCY ON WHEAT CROPS IN THE NORTHWESTERN ZONE OF THE KURGAN REGION

Ionina N.V., (✉) Volynkina O.V.

Ural Federal Agrarian Scientific Research Centre, Ural Branch of the Russian Academy of Sciences

Ekaterinburg, Russia

(✉) e-mail: volynkina.o@bk.ru

The results of long-term (1968–2021) experiment on the use of fertilizers for the 10th and 11th rotations of grain and fallow crop rotation in the experimental field of the Kurgan region are presented. Crop rotation included fallow and three crops of wheat. Fertilizer efficiency varied depending on the combination of the nutrients, the place of wheat in the rotation, and the moisture conditions of the growing season. Moderate effect of phosphorus fertilizer and high effect of nitrogen fertilizer on heavy loamy leached chernozem of the experimental field in these rotations was observed on the crops distant from the fallow. The combination of nitrogen and phosphorus fertilizers gave a higher yield increase. Nitrogen fertilizer also had a positive effect on the quality of wheat, increasing the gluten content and the thousand-kernel weight. With the increase of gluten accumulation in wheat grain against the background of nitrogen fertilizer, the repeatability of wheat quality compliance with the requirements for the 3rd class of grain increased. The effect of fertilizers and the duration of their application on the agrochemical properties of soil became visible. The content of mobile nutrients, humus, total nitrogen and

phosphorus increased more noticeably with the use of fertilizers, but the  $\text{pH}_{\text{san}}$  value decreased. High economic efficiency related to nitrogen fertilizer applied on the second and third wheat after fallow with a payback of 1 kg of nitrogen 12–19 kg of grain. The effect of phosphorus fertilizer was moderate, since the content of mobile  $\text{P}_2\text{O}_5$  in the topsoil remained high. The use of ammophos had a stronger effect on the yield of wheat when the plants were well supplied with nitrogen in the first fallow crops.

**Keywords:** northwestern zone of the Kurgan region, leached chernozem, fertilizer composition, grain fallow crop rotation, wheat yield, grain quality

**Для цитирования:** Ионина Н.В., Волынкина О.В. Эффективность удобрений на посевах пшеницы в северо-западной зоне Курганской области // Сибирский вестник сельскохозяйственной науки. 2023. Т. 53. № 6. С. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-1>

**For citation:** Ionina N.V., Volynkina O.V. Fertilizer efficiency on wheat crops in the northwestern zone of the Kurgan region. *Sibirskii vestnik sel'skokhozyaistvennoi nauki = Siberian Herald of Agricultural Science*, 2023, vol. 53, no. 6, pp. 5–14. <https://doi.org/10.26898/0370-8799-2023-6-1>

#### Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

#### Conflict of interest

The authors declare no conflict of interest.

#### Благодарность

Работа подготовлена в рамках государственного задания Министерства науки и высшего образования по теме № 0532-2021-0002 «Усовершенствовать систему адаптивно-ландшафтного земледелия для Уральского региона и создать агротехнологии нового поколения на основе минимизации обработки почвы, диверсификации севооборотов, рационального применения пестицидов и биопрепаратов, сохранения и повышения почвенного плодородия и разработать информационно-аналитический комплекс компьютерных программ, обеспечивающий инновационное управление системой земледелия».

#### Acknowledgements

This work was prepared under the state assignment of the Ministry of Science and Higher Education as part of the project No.0532-2021-0002 “To Improve the Adaptive Landscape Farming System for the Urals Region and Create New Generation Agricultural Technologies Based on Minimizing Tillage, Diversifying Rotations, Rational Use of Pesticides and Biopreparations, Preserving and Improving Soil Fertility, and Develop an Information and Analytical Complex of Computer Programs to Support Innovative Management of the Agricultural System”.

## ВВЕДЕНИЕ

Яровая мягкая пшеница – основная культура в земледелии Курганской области. Большая часть ее посевов в области размещена на черноземах выщелоченных и обыкновенных солонцеватых. В черноземах в отличие от других типов почв накапливается больше нитратов, что обеспечивает благоприятный азотный режим для яровой пшеницы. Из двух подтипов черноземов больше нитратов образуется в обыкновенном солонцеватом по сравнению с выщелоченным.

При длительном применении азотных удобрений в почве повышается не только количество подвижных соединений азота, но меняется содержание общего азота, увеличиваясь на 4–16% [1]. Важность уточнения оптимальных доз азотного удобрения обоснована устранением или снижением потерь азота через вы-

мывание в слои почвы ниже корнеобитаемого горизонта. Действие азота и фосфора тесно взаимосвязано. Достаточная обеспеченность растений фосфором усиливает положительное влияние азотного удобрения [2–4].

В Уральском регионе в пашне насчитывается 50–60% почв с низким содержанием подвижного фосфора [5, 6], что обуславливает на таких фонах применять совместно азотное и фосфорное удобрение. Подвижного калия в почвах Курганской области достаточно, но на фонах систематического внесения азота и фосфора добавление калийного удобрения приносит небольшое дополнительное повышение урожайности культур, особенно пропашных. Эффективность даже оптимальных доз удобрений в большой степени меняется от складывающихся метеорологических условий<sup>1–3</sup> [7]. Как отмечают О.В. Мельников и

<sup>1</sup>Фатыхов И.Ш., Колесникова В.Г., Корепанова Е.В., Исламова Ч.М. Экологические проблемы в агрономии // Современному АПК – эффективные технологии: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию В.М. Макаровой (11–14 декабря 2018 г.). Ижевск: Ижевская ГСХА. 2019. Т. 1. С. 445–447.

<sup>2</sup>Волкова Л.В. Урожайность яровой мягкой пшеницы и ее связь с элементами продуктивности в разные по метеорологическим условиям годы // Аграрная наука Евро-Северо-Востока. 2016. № 6. С. 9–15.

<sup>3</sup>Мельников О.В., Мажуго Т.М. Урожайность и качество зерна сортов яровой мягкой пшеницы в зависимости от условий выращивания // Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии. 2015. № 8. С. 123–125.

Т.М. Мажуго (см. сноску 3), «величина урожая – это результат компромисса между продуктивностью растений и его устойчивостью к неблагоприятным условиям среды». Со смещением срока посева появляется возможность регулирования урожайности культур с учетом распределения осадков и изменчивости других показателей погоды по многолетним климатическим данным. Есть примеры, когда в условиях сниженной солнечной активности выигрывали ранние сроки посева пшеницы, а повышенной – поздние<sup>4</sup>.

Варьируют урожайность и качество зерна пшеницы и в связи с другими элементами агротехники: подбором сортов интенсивного типа [8], посевом ценной или сильной пшеницы [9], местом в севообороте и видом обработки почвы. По влиянию на урожайность пшеницы нулевая обработка почвы и традиционная сближаются в степных зонах многих регионов<sup>5</sup>. Удобрения повышают количество основной продукции и общую сумму растительных остатков, увеличивая постепенно за счет этого содержание гумуса<sup>6</sup>. Под влиянием удобрений повышается содержание подвижных питательных веществ в почве, существенно улучшая условия питания растений<sup>7</sup> [10].

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Длительный эксперимент на опытном поле Курганского научно-исследовательского института сельского хозяйства в с. Мальцево (Курганская область) проводили в трех закладках с 1968, 1969 и 1971 гг. Вначале это подразделение было Шадринской опытной станцией, которой 35 лет руководил Т.С. Мальцев, далее – В.Б. Собянин. С 2010 г. станция присоединена к Курганскому НИИСХ в качестве лаборатории им. Т.С. Мальцева. Большую часть лет исполнителями опыта были Б.Н. Собянин, П.З. Собянина, В.Б. Собянин и О.Б. Собянина,

с 2011 г. – Н.В. Ионина. С 2011 г. руководил исследованиями А.Н. Копылов. Анализ данных опыта выполнен авторами статьи.

Материалы эксперимента по изучению удобрений опубликованы в 2019 г. в статье в журнале «Агрохимия», где сделано обобщение результатов опыта с удобрениями за 1968–2017 гг. [11]. В настоящей статье обсуждены данные, полученные в 10-й и 11-й ротациях (2014–2021 гг.).

Почва – тяжелосуглинистый выщелоченный чернозем. Севооборот развернут в пространстве и во времени, т.е. учеты вели для первой – третьей пшеницы после пара в трех полях – закладках опыта. Агрохимические свойства почвы в первые годы опыта: гумус на трех участках-закладках – 6,18–6,48–6,33%, общий азот – 0,308–0,314–0,339%, валовой фосфор – 0,145–0,118–0,153%,  $pH_{KCl}$  – 5,8–6,2, подвижные  $P_2O_5$  и  $K_2O$  по Чирикову – 54–61 и 159–196 мг/кг почвы. Содержание подвижного фосфора в контроле с 7-й ротации начало повышаться в связи с систематической обработкой почвы поперек делянок, хотя защитная зона у каждой делянки составляла по 2,11 м с двух сторон. В контроле в 4-й ротации этот показатель поддерживался на исходном уровне – 54 мг/кг, в 7-й (1999–2005 гг.) стал равен 74 мг/кг, 2011 г. – 93 мг/кг. Даже на фоне азотно-калийного удобрения данная величина соответственно названным ротациям изменилась от 43 до 60 мг/кг. В связи с этим обычно хорошо проявляемое действие удобрений в комбинации РК на посевах пшеницы по пару в размере от 2 до 5 ц зерна/га зафиксировано лишь в 1–5-й ротациях. В 6-й и 8-й ротациях прирост урожайности от РК на первой пшенице снизился до 1,1–1,3 ц/га, в 7-й прибавка отсутствовала. Принято решение на 8 лет (2003–2010) прекратить применение фосфор-

<sup>4</sup>Василевский В.Д. Реакция мягкой яровой пшеницы разных групп спелости на срок посева в южной лесостепи Западной Сибири в зависимости от солнечной // Современному АПК – эффективные технологии: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию В.М. Макаровой (11–14 декабря 2018 г.). Ижевск: Ижевская ГСХА. 2019. Т. 1. С. 90–94.

<sup>5</sup>Пасынков А.В., Пасынкова Е.Н. Способ ориентировочного определения содержания сырой клейковины в зерне пшеницы // Современному АПК – эффективные технологии: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвященной 90-летию В.М. Макаровой (11–14 декабря 2018 г.). Ижевск: Ижевская ГСХА. 2019. Т. 1. С. 348–352.

<sup>6</sup>Карпунин М.Ю., Гринев Л.В. Ресурсосберегающие технологии в степной зоне Северного Казахстана и их преимущества и проблемы // Аграрный вестник Урала. 2016. № 4 (146). С. 13–17.

<sup>7</sup>Шарков И.Н. Гумус и управление плодородием почвы // Аграрный сектор. 2016. № 4 (38). С. 126–135.

ного удобрения. После перерыва с 2011 г. фосфор стали вносить в дозе  $P_{20}$  локально сеялкой СЗ-3,6 перед посевом в отличие от ранее применяемого разбросного равномерного способа. При локальном внесении фосфорного удобрения в 10-й ротации прибавка урожайности от  $P_{20}$  на пшенице по пару составила 2,6 ц/га.

В первые годы севооборот был пятипольным: пар, две пшеницы, кукуруза (овес с 1997 г.), пшеница, с 2011 г. – четырехпольным: пар и три пшеницы. Основная обработка почвы: в первые ротации – вспашка, с 2011 г. – поверхностная. Площадь делянок 221 м<sup>2</sup> (34 × 6,5), учетная 68,4 м<sup>2</sup> (30 × 2,28), повторность вариантов четырехкратная.

Дозы всех элементов питания изменялись. В таблицах приведено их средневзвешенное количество для 53 лет опыта. Действие удобрений изучали по схеме: контроль (без удобрения), РК, НК, НРК. Азот применяли в виде аммиачной селитры, фосфор – в форме суперфосфата. Хлористый калий вносили в опыте 32 года (по 2000 г.), далее калий оказывал лишь небольшое последствие, поскольку содержание  $K_2O$  в почве участка высокое – 172–200 мг/кг.

В 10-й и 11-й ротациях высевали сорта пшеницы Исеть 45 и Радуга. Посев осуществляли посевным комплексом «Кузбасс» на глубину 6 см в норму 4 млн всхожих зерен/га. Посев проводили 25 мая – 3 июня по мере достижения физической спелости тяжелосуглинистой почвы и повышения температуры воздуха до 15–17 °С. Прикатывание почвы осуществляли в день посева.

Для ухода за посевом проводили обработку растений с помощью Explorer баковой смесью, л/га: Опричник (0,4), Топтун (0,6) и инсектицид Айвенго (0,1). В годы распространения стеблевой ржавчины посев опрыскивали фунгицидом Фалькон. Урожай убирали напрямую комбайном Сампо-500 с отбором образца зерна для учета влажности и сорности бункерной массы.

В зернопаропропашном севообороте при вспашке за 24–26 лет посевов пшеницы засуха повторилась 10 раз, за 7–8 лет зернопарового севооборота при поверхностной обработке – один раз в 2021 г. Сумма осадков

за май – август в период, взятый для анализа (2014–2021 гг.), в среднем составила 192 мм при колебаниях 36–281 мм.

Цель исследования – продолжить изучение действия состава удобрения в изменившихся агротехнических и агрохимических условиях выращивания пшеницы.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

*Влияние удобрений на урожайность пшеницы.* Погодные условия в 10-й и 11-й ротациях для шести посевов первой пшеницы по пару 5 раз содействовали формированию высокой урожайности. Исключением был 2021 г. с сильной засухой, длившейся в мае, июне и начале июля, что вызвало снижение урожайности необработанной и удобренной пшеницы, ранее получаемой от 26–35 до 8–9 ц/га соответственно. На первой пшенице азот не вносили, но применение его в следующих полях севооборота оказывало последствие, которое положительным было лишь в 2019 г., что объясняется недостатком тепла в предыдущем году в период парования, а также в мае и июне 2019 г. На удобряемых посевах пшеницы по пару существенное влияние на урожайность оказывали варианты фосфорно-калийного и полного минерального удобрения с приростами урожайности 1,6 и 2,0 ц/га (см. табл. 1). Действие фосфора было невысоким в связи с упомянутым выше постепенным повышением содержания подвижного  $P_2O_5$  (по Чирикову) на участке под опытом. Так, к 2011 г. оно достигло в контроле 93 мг/кг, в варианте  $N_{54}K_{16}$  – 62 и на фонах с фосфорным удобрением – 108 и 118 мг/кг.

Урожайность второй пшеницы после пара в части лет снижалась до 10–13 ц/га, в среднем за 5 лет 10-й и 11-й ротаций получено 14,8 ц/га. Повышение продуктивности пшеницы в этом поле севооборота обеспечило азотное удобрение и его сочетание с фосфорным, где урожайность достигала уровня первой пшеницы по пару. В завершающем севообороте поле в связи с засухой 2021 г. получен самый низкий сбор зерна – 5–12 ц/га. В среднем за 5 лет в контроле собрано 13,4 ц/га. В этом поле также сильнее всего на урожайность действовало азотное удобрение. Однако повышение засоренности

в конце севооборота даже при внесении удобрения ограничило сбор зерна до 21,8 ц/га на фоне  $N_{54}K_{16}$  и 23,4 ц/га с применением полного минерального удобрения (см. табл. 1).

Сравнение эффективности удобрений в два периода опыта при разной обработке почвы показало, что в отношении влияния разного состава удобрений закономерность была одинаковой. Например, на первой пшенице по пару в вариантах 1–4 (название вариантов см. табл. 1) урожайность при вспашке составляла 21,0; 23,5; 21,8 и 23,0 ц/га, в годы с поверхностной обработкой – 25,4; 27,4; 26,1 и 28,0 ц/га; на второй пшенице 11,5; 11,8; 16,1; 17,7 и 14,2; 16,2; 24,9; 27,8 ц/га соответственно. Урожайность и ее прибавка были ниже в годы вспашки, так как в первый период опыта оказалось больше засушливых лет.

*Действие удобрений на качество зерна.* Удобрение оказывало положительное влияние

на качество зерна пшеницы. Без удобрения в условиях северо-западной зоны не всегда удается одновременное повышение и урожайности пшеницы, и содержания белка в зерне. Так, в 10-й и 11-й ротациях в контроле даже у первой пшеницы по пару соответствие качества зерна требованиям к 3-му классу по содержанию клейковины в зерне обнаружено лишь в 50% лет. Азотно-калийный фон в первом посеве по пару повысил повторяемость по годам 3-го класса до 67% лет. На втором и третьем посевах после пара без удобрения количество клейковины в зерне пшеницы значительно ниже, но за счет внесения азота оно повышалось на 5–11% в абсолютной величине. Фосфорно-калийное удобрение незначительно изменяло содержание клейковины в зерне (см. табл. 2).

У неудобренной третьей пшеницы тоже только 2 года из 5 отмечен уровень клейковины не менее 23%. На фоне удобрения, включа-

**Табл. 1.** Урожайность первой – третьей пшеницы после пара в 10–11-й ротациях, ц/га

**Table 1.** Yield of the first - third wheat after fallow in 10-11th rotations, c/ha

| Год                       | Вариант  |                                 |                                   |                                                  | НСР <sub>05</sub> , ц/га |
|---------------------------|----------|---------------------------------|-----------------------------------|--------------------------------------------------|--------------------------|
|                           | Контроль | P <sub>27</sub> K <sub>16</sub> | Π*N <sub>54</sub> K <sub>16</sub> | ΠN <sub>54</sub> P <sub>27</sub> K <sub>16</sub> |                          |
| Первая пшеница после пара |          |                                 |                                   |                                                  |                          |
| 2014                      | 31,3     | 33,2                            | 30,0                              | 34,0                                             | 0,9                      |
| 2015                      | 32,9     | 34,8                            | 30,2                              | 34,8                                             | 2,2                      |
| 2017                      | 30,5     | 32,2                            | 29,9                              | 32,0                                             | 1,3                      |
| 2018                      | 28,0     | 30,0                            | 28,4                              | 30,3                                             | 1,1                      |
| 2019                      | 26,5     | 27,0                            | 28,2                              | 30,3                                             | 0,7                      |
| 2021                      | 8,1      | 9,4                             | 8,0                               | 8,1                                              | 1,5                      |
| Среднее                   | 26,2     | 27,8                            | 25,8                              | 28,2                                             |                          |
| +– к контролю             | –        | 1,6                             | –0,4                              | 2,0                                              |                          |
| Вторая пшеница после пара |          |                                 |                                   |                                                  |                          |
| 2015                      | 20,1     | 23,8                            | 31,4                              | 32,4                                             | 2,1                      |
| 2016                      | 19,5     | 21,0                            | 31,0                              | 36,2                                             | 3,0                      |
| 2018                      | 10,4     | 10,7                            | 15,9                              | 17,8                                             | 2,7                      |
| 2019                      | 13,0     | 15,5                            | 28,3                              | 33,6                                             | 3,1                      |
| 2020                      | 11,0     | 11,1                            | 18,9                              | 19,3                                             | 4,2                      |
| Среднее                   | 14,8     | 16,4                            | 25,1                              | 27,9                                             |                          |
| +– к контролю             | –        | 1,6                             | 10,3                              | 13,1                                             |                          |
| Третья пшеница после пара |          |                                 |                                   |                                                  |                          |
| 2016                      | 18,6     | 20,0                            | 29,8                              | 28,7                                             | 2,7                      |
| 2017                      | 16,9     | 18,0                            | 27,6                              | 29,6                                             | 2,5                      |
| 2018                      | 14,5     | 16,1                            | 22,1                              | 23,9                                             | 2,1                      |
| 2020                      | 11,6     | 11,0                            | 19,3                              | 22,2                                             | 2,9                      |
| 2021                      | 5,7      | 5,6                             | 10,4                              | 12,5                                             | 1,7                      |
| Среднее                   | 13,4     | 14,1                            | 21,8                              | 23,4                                             |                          |
| +– к контролю             | –        | 0,7                             | 8,4                               | 10,0                                             |                          |

Примечание. На первой пшенице азотные удобрения не вносили, но применение их в последующих полях севооборота оказывало последствие. Здесь и в табл. 2 и 6 П – последствие.

ющего азот, существенное повышение клейковины выявлено в течение трех лет. Среднее увеличение к контролю составило 5–6% в абсолютной величине. Понижение содержания клейковины в зерне в 2016 и 2017 гг. связано с получением достаточно высокой урожайности. Имело значение и поражение растений стеблевой ржавчиной.

Не менее важным признаком качества пшеницы является выполненность зерна (масса 1000 зерен). В условиях опыта этот показатель варьировал по годам и вариантам от 24,4 до 42,7 г. Применение удобрений оказывало положительное действие на массу 1000 зерен в основном в вариантах с азотом, особенно на фоне полного минерального удобрения  $N_{54}P_{27}K_{16}$ , за счет которого на второй и третьей пшенице после пара ее величина повышалась на 2–4–6 г.

*Влияние удобрений на агрохимические свойства почвы.* Воздействие удобрений на многие свойства почвы происходит медленно

и постепенно, поэтому следует обратиться к результатам исходных анализов почвы в 1-й ротации и сравнить их с данными, полученными через 30 лет в 6-й ротации. Даже на такие мало меняющиеся свойства почвы, как гумус, сумма поглощенных оснований, содержание валового азота и фосфора, удобрения оказали воздействие. Заметнее за 30 лет увеличилось количество подвижного фосфора, а также повысилась кислотность почвы (см. табл. 3).

Представляет интерес связь изменчивости урожайности пшеницы за 1–6-ю ротации с содержанием гумуса в каждой из последующих ротаций. Сумма растительных остатков напрямую определяется уровнем урожайности культур севооборота; нами рассмотрена урожайность пшеницы. Солома оставалась на поле с 1978 г. (с появлением комбайна Сампо-500). Анализ почвы проводили в год начала ротации в каждой из закладок опыта. В этой сложной зависимости нет полного соответствия, однако в большинстве сравнений обнаружено повыше-

**Табл. 2.** Содержание клейковины в зерне первой – третьей пшеницы после пара в 10–11-й ротациях, %

**Table 2.** Gluten content in the grain of the first - third wheat after fallow in the 10th-11th rotations, %

| Вариант                   | Год  |      |      |      |      |      | Среднее | 3-й класс зерна,<br>% лет |
|---------------------------|------|------|------|------|------|------|---------|---------------------------|
|                           | 2014 | 2015 | 2017 | 2018 | 2019 | 2021 |         |                           |
| Первая пшеница после пара |      |      |      |      |      |      |         |                           |
| Контроль                  | 26,7 | 18,7 | 20,7 | 24,3 | 17,9 | 29,1 | 22,9    | 50                        |
| $P_{27}K_{16}$            | 27,0 | 19,5 | 20,0 | 24,5 | 17,4 | 28,9 | 22,9    | 50                        |
| $PN_{54}K_{16}$           | 28,0 | 19,0 | 23,0 | 23,0 | 19,6 | 28,8 | 23,6    | 67                        |
| $PN_{54}P_{27}K_{16}$     | 28,0 | 19,0 | 24,5 | 22,2 | 20,6 | 29,0 | 23,9    | 50                        |
| НСР <sub>05</sub> , %     |      |      |      |      |      |      | 1,44    |                           |
| Вторая пшеница после пара |      |      |      |      |      |      |         |                           |
| Вариант                   | 2015 | 2016 | 2018 | 2019 | 2020 |      |         |                           |
| Контроль                  | 13,2 | 15,2 | 24,5 | 19,9 | 22,6 | 19,1 | 40      |                           |
| $P_{27}K_{16}$            | 14,0 | 14,0 | 24,5 | 22,3 | 20,0 | 19,0 | 20      |                           |
| $N_{54}K_{16}$            | 16,0 | 16,5 | 30,0 | 31,4 | 27,3 | 24,2 | 60      |                           |
| $N_{54}P_{27}K_{16}$      | 14,0 | 16,5 | 32,0 | 30,0 | 30,6 | 24,6 | 60      |                           |
| НСР <sub>05</sub> , %     |      |      |      |      |      |      | 3,32    |                           |
| Третья пшеница после пара |      |      |      |      |      |      |         |                           |
| Вариант                   | 2016 | 2017 | 2018 | 2020 | 2021 |      |         |                           |
| Контроль                  | 15,5 | 21,5 | 26,1 | 21,0 | 28,3 | 22,5 | 40      |                           |
| $P_{27}K_{16}$            | 16,0 | 22,0 | 29,4 | 23,2 | 26,0 | 23,3 | 60      |                           |
| $N_{54}K_{16}$            | 17,0 | 21,5 | 41,0 | 34,2 | 29,0 | 28,5 | 60      |                           |
| $N_{54}P_{27}K_{16}$      | 17,0 | 22,0 | 36,4 | 31,3 | 32,0 | 27,7 | 60      |                           |
| НСР <sub>05</sub> , %     |      |      |      |      |      |      | 4,63    |                           |

ние содержания гумуса после ротаций с более высокой урожайностью (см. табл. 4).

Подсчеты сделаны в среднем по трем закладкам опыта. Вполне очевидно, что после получения урожайности в пределах 18–22 ц/га в 1-й ротации содержание гумуса во 2-й было выше, чем в 3-й, после 16–20 ц/га – во 2-й. Еще заметнее повысился гумус в 4-й ротации за счет большего количества растительных остатков при урожайности 17–27 ц/га. Снижение продуктивности в 4-й ротации до 12–

18 ц/га привело к уменьшению гумуса в 5-й ротации до 5,63–6,61% (см. табл. 4).

Даже без учета предполагаемых по урожайности растительных остатков в поле предшественника пшеницы просматривается обсуждаемая связь. С 1997 г. для суммы остатков имела значение величина урожайности овса, которая в 6–8-й ротациях в среднем по трем закладкам эксперимента равнялась 9–22–25 ц/га, поэтому в 9-й ротации в 2011 г. отмечены повышенные показатели.

**Табл. 3.** Изменение агрохимических показателей выщелоченного чернозема за 30 лет опыта в с. Мальцево (среднее по трем закладкам)

**Table 3.** Changes in agrochemical indicators of leached chernozem over 30 years of experience in the village of Maltsevo (average of three establishments)

| Вариант                                      | Гумус, % | pH <sub>вод.</sub> | pH <sub>ксл</sub> | Общий азот, % | Общий фосфор, % | Ca + Mg, мг-экв./100 г | P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , мг/100 г | K <sub>2</sub> O, мг/100 г |
|----------------------------------------------|----------|--------------------|-------------------|---------------|-----------------|------------------------|------------------------------------------|----------------------------|
| <i>1-я ротация</i>                           |          |                    |                   |               |                 |                        |                                          |                            |
| N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> | 6,30     | 6,6                | 6,1               | 0,288         | 0,134           | 36,4                   | 0,175                                    | 13,8                       |
| PK                                           | 6,57     | 6,6                | 6,0               | 0,292         | 0,135           | 36,4                   | 0,177                                    | 13,8                       |
| NK                                           | 6,66     | 6,5                | 6,2               | 0,321         | 0,138           | 37,2                   | 0,176                                    | 13,3                       |
| NPK                                          | 6,68     | 6,5                | 6,2               | 0,321         | 0,139           | 37,2                   | 0,176                                    | 13,3                       |
| <i>Через 30 лет, 6-я ротация</i>             |          |                    |                   |               |                 |                        |                                          |                            |
| N <sub>0</sub> P <sub>0</sub> K <sub>0</sub> | 6,43     | 6,3                | 5,2               | 0,290         | 0,148           | 38,4                   | 0,645                                    | 13,6                       |
| PK                                           | 7,28     | 6,2                | 5,2               | 0,346         | 0,170           | 39,0                   | 1,456                                    | 13,9                       |
| NK                                           | 7,41     | 6,2                | 5,2               | 0,321         | 0,161           | 38,6                   | 0,469                                    | 14,0                       |
| NPK                                          | 7,34     | 6,2                | 5,2               | 0,310         | 0,179           | 37,2                   | 1,954                                    | 13,0                       |

Примечание. P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – по Францесону, K<sub>2</sub>O – по Бровкиной.

**Табл. 4.** Влияние колебаний продуктивности пшеницы по ротациям севооборота на изменчивость содержания гумуса в слое почвы 0–20 см

**Table 4.** The effect of fluctuations in wheat productivity by rotation of crop rotation on the variability of humus content in the soil layer 0-20 cm

| Вариант                          | Ротация, годы    |                  |                  |                  |                  |             |
|----------------------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|-------------|
|                                  | 1-я              | 2-я              | 3-я              | 4-я              | 5-я              | 6-я         |
|                                  | 1968–1975        | 1974–1980        | 1979–1985        | 1984–1990        | 1989–1995        | 1994–2000   |
| <i>Урожайность пшеницы, ц/га</i> |                  |                  |                  |                  |                  |             |
| Контроль                         | 18,6             | 16,0             | 17,4             | 12,9             | 10,3             | 13,1        |
| PK                               | 19,6             | 17,2             | 18,7             | 14,2             | 12,1             | 13,9        |
| NK                               | 21,2             | 17,4             | 24,5             | 16,2             | 14,1             | 17,6        |
| NPK                              | 22,6             | 20,0             | 27,6             | 18,0             | 16,0             | 19,0        |
| <i>Содержание гумуса, %</i>      |                  |                  |                  |                  |                  |             |
| Вариант                          | 2-я<br>1974–1977 | 3-я<br>1979–1981 | 4-я<br>1984–1987 | 5-я<br>1989–1992 | 6-я<br>1994–1997 | 9-я<br>2011 |
| Контроль                         | 6,72             | 6,24             | 6,55             | 5,63             | 6,43             | 6,90        |
| PK                               | 7,21             | 6,81             | 7,39             | 6,43             | 7,28             | 7,10        |
| NK                               | 7,12             | 6,72             | 7,84             | 6,61             | 7,41             | 7,10        |
| NPK                              | 6,86             | 6,85             | 7,39             | 6,30             | 7,34             | 7,33        |

Подробно в опыте исследовано содержание в почве подвижного  $P_2O_5$  по методу Францесона, которое менялось как во времени, так и под влиянием удобрений. В табл. 5 приведены эти данные по закладке 1968 г. Получаемые ежегодно материалы за 37 лет разбиты на семь периодов, подсчитано среднее за 2 года.

Ежегодное применение фосфорного удобрения заметно обогатило почву подвижным фосфором. Поввысилось его содержание и в вариантах без фосфора, что объясняется переносом почвы с одних делянок на соседние при проведении обработки на участке под опытом поперек вариантов. До 2011 г. проводили осеннюю вспашку, весеннее боронование и предпосевную культивацию.

*Экономическая эффективность разного состава удобрения.* Выгодны ли удобрения в новых агротехнических и агрохимических условиях опыта? Окупаемость азота и фосфора должна быть не менее 8–10 кг/кг. По данным табл. 6, оплата фосфора прибавками зерна ниже нормы. В отличие от этого окупаемость азота превышала ее значительно и равнялась 16–19 кг/кг на второй пшенице после пара и 12–15 – на третьей.

Подсчеты окупаемости в рублях также показали, что наиболее выгодным было применение азотного удобрения. В 2020, 2021 гг. цена 1 ц селитры составляла 1800 р., зерна 3-го класса 1600 р./ц; доза  $N_{54}$  в виде аммиачной селитры – 2772 р./га, с расходами на внесение и уборку дополнительного урожая 4822 р./га. Прибавка от азота 8–10 ц/га по цене, скорректированной на основе повторяемости получения зерна 3-го класса, стоит 12 480–15 600 р./га, т.е. очевидно получение высокой прибыли.

В отношении аммофоса важно решить, нужно ли его вносить под пшеницу по пару в условиях, которые сложились в опыте: высокое содержание подвижного  $P_2O_5$  и малая средняя прибавка зерна – 1,6 ц/га. В настоящее время 1 ц аммофоса стоит 5400–5700 р., доза  $P_{27}$  – 2916–3078 р./га, с затратами на внесение и уборку прибавки зерна – 3966–4063 р./га. Прибавка 1,6 ц/га при повторяемости зерна 3-го класса за 50% лет стоит 2480 р./га. Расходы на покупку и применение удобрения не покрываются стоимостью прироста урожайности. Лучшая из прибавок от фосфора, добавляемого к азоту (2,8 ц/га), оценена суммой 4368 р./га, но это незначительно превышает сумму затрат на аммофос. Следовательно, пока сохраняется повышенное содержание подвижного фосфора в почве, в зернопаровом севообороте можно обходиться применением лишь азотных удобрений. При снижении содержания подвижного фосфора до 40–60 мг/кг почвы необходимо применять дорогостоящий аммофос.

При подробном рассмотрении эффектов от фосфора на первой пшенице отмечено получение существенных прибавок: 11 раз за 26 лет проведения вспашки (2–3 ц/га) и 6 раз за следующие 7 лет с поверхностной обработкой почвы (2–7 ц/га). При добавлении фосфора к азоту на втором и третьем посевах после пара отмечены прибавки в размере 2–7 ц/га 8 раз за годы вспашки. После 8-летнего перерыва применения фосфора внесение его в годы поверхностной обработки почвы получен прирост урожайности 2–5 ц/га на второй культуре 4 раза за 7 лет и 5 раз за 8 лет – 2–3 ц/га на третьей. Учитывая проявление более высоких прибавок, чем средние эффекты, можно перейти на применение меньшей дозы  $P_{15}$  и вносить

**Табл. 5.** Изменчивость содержания  $P_2O_5$  по Францесону в слое почвы 0–20 см в течение 37 лет опыта, мг/100 г

**Table 5.** Variability of the content of  $P_2O_5$  according to Franceson in the soil layer of 0–20 cm during 37 years of experience, mg/100 g

| Вариант           | Годы       |            |            |            |            |            |            |
|-------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                   | 1969, 1970 | 1974, 1975 | 1979, 1980 | 1987, 1988 | 1993, 1994 | 1998, 1999 | 2003, 2005 |
| Контроль          | 0,136      | 0,151      | 0,270      | 0,368      | 0,482      | 0,672      | 0,545      |
| PK                | 0,170      | 0,314      | 0,492      | 0,815      | 1,137      | 1,703      | 1,186      |
| NK                | 0,164      | 0,165      | 0,244      | 0,275      | 0,272      | 0,442      | 0,485      |
| NPK               | 0,222      | 0,314      | 0,634      | 0,722      | 1,446      | 1,641      | 1,396      |
| HCP <sub>05</sub> |            |            |            | 0,27       |            |            |            |

**Табл. 6.** Окупаемость азота и фосфора по посевам яровой пшеницы в зернопаровом севообороте в 10-й и 11-й ротациях, кг/кг

**Table 6.** Nitrogen and phosphorus profitability for spring wheat in the grain and fallow crop rotation in the 10th and 11th rotations, kg/kg

| Пшеница после пара                  |     |                                    |      |                                    |      |
|-------------------------------------|-----|------------------------------------|------|------------------------------------|------|
| первая                              |     | вторая                             |      | третья                             |      |
| Контроль                            | —   | Контроль                           | —    | Контроль                           | —    |
| P <sub>27</sub> ПК                  | 5,9 | P <sub>27</sub> ПК                 | 6,7  | P <sub>27</sub> ПК                 | 2,6  |
| PN <sub>54</sub> ПК                 | —   | N <sub>54</sub> ПК                 | 19,4 | N <sub>54</sub> ПК                 | 15,6 |
| PN <sub>54</sub> P <sub>27</sub> ПК | 2,4 | N <sub>54</sub> P <sub>27</sub> ПК | 16,4 | N <sub>54</sub> P <sub>27</sub> ПК | 12,3 |

ее при посеве, что повысит прибавку и окупаемость фосфора.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Изучение эффективности разного состава удобрений на посеве пшеницы в зернопаровом севообороте в 10-й и 11-й ротациях на тяжело-суглинистом выщелоченном черноземе, богатым подвижным фосфором, в северо-западной зоне Курганской области показало, что первоочередным в улучшении питания растений оказалось применение азотного удобрения. Такой же закономерностью характеризовалось действие разного состава и ранее в среднем в 1–9-й ротациях зернопаропропашного севооборота в годы проведения вспашки. В 10-й и 11-й ротациях азот обеспечивал высокие прибавки на посевах пшеницы, удаленных от пара – 8–10 и 10–13 ц/га в сочетании с фосфором соответственно. Средний эффект от азота за 1–9-ю ротации ниже – 6–7 ц/га, возможно, за счет улучшения условий питания непосредственно от проведения вспашки, а также от влияния частых засух. Прибавка урожайности от применения фосфора в первом посеве после пара была невысокой – 1,6 ц/га, однако в начальный период опыта, пока почва была беднее фосфором, в ряде лет проявлялось очень высокое действие фосфорного удобрения с получением прибавок пшеницы по пару до 7 ц/га. Позднее и при вспашке, и поверхностной обработке прирост урожайности от фосфора ограничивался в среднем 2 ц/га, что означало невысокую окупаемость дорогостоящего фосфорного удобрения. Учитывая получаемые в части лет более высокие эффекты от фосфора, можно перейти на применение меньшей дозы (P<sub>15</sub>) и вносить ее при посеве. Это способно

повысить прибавку и обеспечить неплохую окупаемость фосфорного удобрения. В следующих полях прибавка от фосфора чаще отмечена только на фоне азотного удобрения.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Завалин А.А., Соколов Д.А., Шмырева Н.Я. Азот в агроecosистеме на черноземных почвах. Регулирование в современных условиях: монография. М.: Издательство РАН, 2018. 180 с.
2. Волюнкина О.В. Фосфорное удобрение усиливает действие азота на урожай и качество пшеницы // Проблемы агрохимии и экологии. 2019. № 1. С. 21–25. DOI: 10.26178/AE.2019.21/62.004.
3. Чуб М.П., Пронько В.В., Ярошенко Т.М., Климова Н.Ф., Журавлев Д.Ю. Оптимизация доз азотных и фосфорных удобрений на черноземных почвах Поволжья с различным содержанием фосфора // Плодородие. 2017. № 2. С. 8–11.
4. Шафран С.А., Духанина Т.М. Значение комплексного агрохимического окультуривания в повышении эффективности применения азотных удобрений под пшеницу // Агрохимия. 2017. № 11. С. 21–30. DOI: 10.7868/S0002188117110035.
5. Шафран С.А. Почва, удобрение, урожай: монография. М.: «Листерра», 2019. 471 с.
6. Семенова Е.А., Афанасьев Р.А. Эффективность применения удобрений под яровую пшеницу в условиях Уральского региона // Плодородие. 2018. № 6. С. 2–8. DOI: 10.25680/S19948603.2018.105.01.
7. Донгак М.М. Влияние климатических условий на продуктивность выделенных селекционных линий мягкой яровой пшеницы в Республике Тыва // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. 2017. № 11. Ч. 1. С. 107–111.

8. Окорков В.В., Батяхина Н.А. К совершенствованию агротехники возделывания яровой пшеницы // Владимирский земледелец. 2018. № 2 (84). С. 16–19.
9. Пахотина И.В., Игнатиева Е.Ю., Зелова Л.А., Белан И.А., Россеева А.П., Блохина Н.П. Оценка сортов яровой мягкой пшеницы на устойчивость формирования сильного и ценного по качеству зерна в условиях Западной Сибири // Успехи современного естествознания. 2018. № 9. С. 29–36.
10. Кириллова Е.В., Копылов А.Н. Влияние различных систем удобрения на изменение агрохимических свойств почвы // Аграрный вестник Урала. 2017. № 4 (158). С. 31–36.
11. Ионина Н.В., Волынкина О.В., Копылов А.Н. Влияние удобрений на урожайность зерновых культур полевых севооборотов в северо-западной зоне Курганской области // Агрохимия. 2019. № 9. С. 33–43. DOI: 10.1134/S0002188119090059.
5. Shafran S.A. *Soil, fertilizer, crop*. Moscow, Listerra Publ., 2019, 471 p. (In Russian).
6. Semenova E.A., Afanasyev R.A. Efficiency of application of fertilizers for spring wheat in the conditions of the Ural region. *Plodorodie = Plodorodie*, 2018, no. 6, pp. 2–8. (In Russian). DOI: 10.25680/S19948603.2018.105.01.
7. Dongak M.M. Influence of climatic conditions on efficiency of the allocated selection lines of soft spring wheat in the Republic of Tyva. *Mezhdunarodnyi zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy = International Journal of Applied and Fundamental Research*, 2017, no. 11, p. 1, pp. 107–111.
8. Okorkov V.V., Batyakhina N.A. To the improvement of agricultural technology of spring wheat cultivation. *Vladimirskii zemledelets = Vladimir agricolist*, 2018, no. 2 (84), pp. 16–19. (In Russian).
9. Pakhotina I.V., Ignatieva E.Yu., Zelova L.A., Belan I.A., Rosseeva A.P., Blokhina N.P. Evaluating varieties of spring soft wheat according to stability of forming strong and valuable grain in the conditions of the South of Western Siberia. *Uspexi sovremennogo estestvoznaniya = Advances in current natural sciences*, 2018, no. 9, pp. 29–36. (In Russian).
10. Kirillova E.V., Kopylov A.N. Influence of different fertilizer systems on changes in agrochemical properties of soil. *Agrarny vestnik Urala = Agrarian Bulletin of the Urals*, 2017, no. 4 (158), pp. 31–36. (In Russian).
11. Ionina N.V., Volynkina O.V., Kopylov A.N. The effect of fertilizers on the yield of grain crops of field crop rotations in the northwestern zone of the Kurgan region. *Agrokhimiya = Agricultural Chemistry*, 2019, no. 9, pp. 33–43. (In Russian). DOI: 10.1134/S0002188119090059.

## REFERENCES

## ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

✉ **Волынкина О.В.**, кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник; **адрес для переписки:** Россия, 620142, Екатеринбург, ул. Белинского, 112а; e-mail: volynkina.o@bk.ru

**Ионина Н.В.**, старший научный сотрудник; e-mail: nyura.ionina@yandex.ru

## AUTHOR INFORMATION

✉ **Olga V. Volynkina**, Candidate of Science in Agriculture, Lead Researcher; **address:** 112a, Belinsky St., 620142, Ekaterinburg, Russia; e-mail: volynkina.o@bk.ru

**Natalya V. Ionina**, Senior Researcher; e-mail: nyura.ionina@yandex.ru

Дата поступления статьи / Received by the editors 23.08.2022  
Дата принятия к публикации / Accepted for publication 02.02.2023  
Дата публикации / Published 20.07.2023