

## THE EFFECTIVENESS OF WINTER WHEAT FERTILIZATION SYSTEMS ON MEDIUM-CULTIVATED SOD-PODZOLIC SANDY LOAM SOIL

T. M. Seraya, E. N. Bahatyrova, T. M. Kirdun, T. V. Machok,  
O. M. Biryukova, Y. A. Belyavskaya, M. M. Torchilo

### Summary

Agroeconomical efficiency of mineral and organomineral systems of winter wheat fertilization with the use of cattle manure and straw is analyzed in the field technological experience. The most optimal for winter wheat on medium-cultivated sod-podzolic sandy loam soil was a fertilizer system, including the application of  $N_{70+40+40}P_{65}K_{115}$  on straw with a compensating dose of nitrogen, which provided a grain yield of 64.1 c/ha with a crude protein content of 14,24 %, gluten – 28,94 %, coefficients of compensation for the removal of nutrients by harvest: N – 1,4,  $P_2O_5$  – 1,2,  $K_2O$  – 2,5, conditional net income provided grain is sold as food – 455 USD/ha, the profitability of the use of fertilizers – 195 %, when used for fodder – 71 USD/ha and 31 %, respectively.

*Поступила 02.12.21*

УДК 631.8:633.11:631.559:631.445.2

## ВЛИЯНИЕ МАКРО-, МИКРОУДОБРЕНИЙ И РЕГУЛЯТОРОВ РОСТА НА ПРОДУКЦИОННЫЕ ПРОЦЕССЫ И УРОЖАЙНОСТЬ ЯРОВОЙ ПШЕНИЦЫ НА ДЕРНОВО-ПОДЗОЛИСТОЙ ЛЕГКОСУГЛИНИСТОЙ ПОЧВЕ

И. Р. Вильдфлуш<sup>1</sup>, Г. В. Пироговская<sup>2</sup>, А. А. Кулешова<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Белорусская государственная сельскохозяйственная академия,  
г. Горки, Беларусь

<sup>2</sup>Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь

### ВВЕДЕНИЕ

Яровая пшеница является одной из ведущих культур ярового сева. В республике в структуре зерновых культур ей уделяется большое внимание.

Беларусь имеет все необходимые условия для выращивания и обеспечения себя собственным продовольственным зерном. При урожайности 35–40 ц/га сельскохозяйственные организации республики могут ежегодно получать до 1,5–2,0 млн т пшеничного зерна и почти полностью удовлетворять потребности хлебопекарной промышленности. Все это говорит о больших потенциальных возможностях яровой пшеницы при совершенствовании технологии ее возделывания [1, 2].

Агрохимическая и физиологическая роль микроэлементов многогранна. Они улучшают обмен веществ в растениях, устраняют функциональные нарушения и содействуют нормальному течению физиолого-биохимических процессов, влияют на процессы синтеза хлорофилла и повышают интенсивность фотосинтеза. Известно, что отзывчивость растений на внесение микроэлементов зависит от содержания азота, фосфора и калия в почве. Эффективность микроэлементов увеличивается в случае обеспечения растений азотом, фосфором и калием [3].

Применение в системе удобрения комплексных минеральных удобрений, микроудобрений в хелатной форме, регуляторов роста и комплексных удобрений с регуляторами роста позволит оптимизировать питание растений и разработать высокоэффективную систему удобрения, позволяющую обеспечивать высокую, устойчивую продуктивность, уменьшить действие неблагоприятных метеорологических условий на формирование урожая.

Установлено, что урожай сухого вещества сельскохозяйственных культур на 80–90 % создается в результате фотосинтеза, который в первую очередь зависит от размеров ассимиляционной поверхности, высоты и густоты стояния растений и ряда других факторов [4].

Фотосинтез – основной процесс создания органического вещества в растении. Осуществляя его, растения проделывают огромную работу. Например, для формирования урожайности зерна 35–40 ц/га, что соответствует урожаю сухой биомассы около 100 ц, посев пшеницы должен усвоить около 20 т углекислого газа (что равно содержанию  $\text{CO}_2$  в слое воздуха высотой 4 км над гектарным участком), поглотить около 1 млрд ккал световой энергии, из которых примерно 40 млн ккал аккумулируется в урожае. Такая работа может быть выполнена только мощным и высокоактивным фотосинтетическим аппаратом, формирование которого зависит от условий выращивания и сортовых особенностей растения [5].

Среди показателей, важных для разработки теории и практики оптимизации формирования урожаев, есть целый ряд процессов и показателей фотосинтетической деятельности растений. Среди них основные и в то же время доступные для учетов: 1) ход роста площади листьев; 2) ход роста общей сухой биомассы урожая с расчленением ее на органы: листья, стебли, клубнеплоды; 3) показатели чистой продуктивности фотосинтеза; 4) показатели потенциала; 5) показатели коэффициента хозяйственной годности урожая [6].

В опытах Л. В. Карповой, Г. А. Карповой и А. В. Строгоновой, проводимых в 201–2020 гг. на опытном участке ФГБОУ ВО «Пензенский ГАУ», изучали эффективность макро- и микроудобрений в хелатной форме на яровой пшенице. Было установлено, что формирование листовой поверхности, накопление сухого веса растений, чистой продуктивности фотосинтеза и, как следствие, более высокой урожайности отмечены в варианте с бинарным использованием препаратов «Мегамикс-семена» и «МегамиксПрофи» при двукратной обработке растений в фазы кущения и колошения на фоне  $\text{N}_{16}\text{P}_{16}\text{K}_{16}$  [7].

Г. А. Карпова и М. Е. Миронова в 2005–2007 гг. на коллекционном участке ФГОУ ВПО «Пензенская ГСХА» изучали действие регуляторов роста мелафен, пирарфен и пектин на яровой мягкой пшенице сорта Нива 2 и яровом ячмене сорта Нутанс 642. Использование регуляторов роста способствовало увеличению ЧПФ

растений пшеницы на 12,2–14,0 %, ячменя – на 14,3–18,4 %. Показатели сухой биомассы превышали контрольные значения на 15,2–25,8 % и 27,5–36,2 % соответственно. Обработка семян регуляторами роста способствовала повышению урожайности в среднем за три года исследований на 7,1–14,6 % (абсолютная прибавка урожая 0,18–0,37 т/га) [8].

В Республике Беларусь в Институте почвоведения и агрохимии разработаны новые формы комплексных удобрений АФК с микроэлементами для основного внесения, а также различные марки микроудобрений МикроСтим для некорневой подкормки. Изучение влияния данных удобрений на урожайность и качество продукции позволит разработать ресурсосберегающую систему удобрения сельскохозяйственных культур.

Цель исследований – изучить влияние комплексных удобрений для допосевого внесения и некорневых подкормок, микроудобрений в хелатной форме, регуляторов роста и комплексных микроудобрений с регуляторами роста на динамику накопления биомассы, площадь листовой поверхности, фотосинтетическую деятельность и урожайность яровой пшеницы.

## ОБЪЕКТЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Исследования проводили в 2018–2020 гг. в УНЦ «Опытные поля УО БГСХА» со среднеспелым сортом яровой пшеницы Бомбона на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве, развивающейся на легком лессовидном суглинке, подстилаемом с глубины 1 м моренным суглинком. Общая площадь делянки – 21 м<sup>2</sup>, учетная – 16,5 м<sup>2</sup>, повторность – 4-кратная.

Пахотный слой почвы характеризовался средним содержанием гумуса (1,5–1,6 %), слабокислой и близкой к нейтральной реакции почвенной среды (рН – 5,58–6,08), повышенным содержанием подвижного фосфора (208–244 мг/кг), средней и повышенной обеспеченностью подвижным калием (174–231 мг/кг), низким и средним содержанием подвижной меди (1,46–1,76 мг/кг), низким и средним содержанием подвижного цинка (2,75–3,43 мг/кг).

Предшественники в 2018 г. – горох, в 2019 и 2020 гг. – подсолнечник. Сеяли пшеницу сеялкой RAU в 2018 г. 3 мая, в 2019 г. – 19 апреля, в 2020 г. – 23 апреля. Норма высева – 5,5 млн всхожих семян.

В исследованиях применяли удобрения:

- карбамид (N – 46 %), аммонизированный суперфосфат (N – 9 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 30 %), хлористый калий (K<sub>2</sub>O – 60 %);
- польское микроудобрение Адоб Медь (Cu – 6,14 %, N – 2,6 %);
- комплексное, разработанное РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси», удобрение марки 16-12-20 с 0,20 % Cu и 0,10 % Mn для основного внесения.
- израильское удобрение для некорневых подкормок Нутривант плюс (N – 6 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 23 %, K<sub>2</sub>O – 5 %, MgO – 1 %, S – 1,5 %, B – 0,1 %, Mn – 0,2 %, Zn – 0,2 %);
- удобрения, произведенные в Нидерландах – Кристалон особый (N – 18 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 18 %, K<sub>2</sub>O – 18 %, MgO – 3 %, S – 2 %) и коричневый (N – 3 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 11 %, K<sub>2</sub>O – 38 %, MgO – 4 %, S – 11 %);

- польское комплексное удобрение Адоб Профит (N – 10 %, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> – 40 %, K<sub>2</sub>O – 8 %, MgO – 3 %, S – 2,3 %, B – 0,05 %, Mn – 0,1 %, Zn – 0,1 %, Cu – 0,1 %, Mo – 0,01 %, Fe – 0,05 %);

- белорусское микроудобрение с регулятором роста МикроСтим-Медь Л (N – 65 г/л; Cu – 78 г/л; гуминовые вещества – 0,6–5,0 г/л);

- регулятор роста Экосил (50 г/л тритерпеновых кислот).

Агротехника возделывания общепринятая для Беларуси.

Минеральные удобрения (карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий) вносили до посева под культивацию.

Некорневые подкормки регуляторами роста, комплексными и микроудобрениями проводили согласно инструкции по применению и отраслевому регламенту [9].

Новое комплексное удобрение с Cu и Mn вносили до посева в дозе, эквивалентной по NPK (0,788 кг ф. в.) варианту 3 (N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>), где применяли карбамид, аммонизированный суперфосфат и хлористый калий. Микроудобрение Адоб Медь и комплексное микроудобрение с регулятором роста МикроСтим-Медь Л применяли в фазу начала выхода в трубку в дозе 0,8 л/га и 0,7 л/га соответственно. Комплексным удобрением Нутривант плюс проводили 2 обработки в дозе 2 кг/га в фазу кущения и фазу начала выхода в трубку. Удобрение Кристалон особый в дозе 2 кг/га вносили в фазу кущения, Кристалон коричневый (2 кг/га) – в фазу начала выхода в трубку. Комплексное удобрение Адоб Профит также вносили дважды в фазу кущения и начала выхода в трубку по 2 кг/га. Обработку посевов регулятором роста Экосил (75 мл/га) проводили в фазу начала выхода в трубку.

Азотная подкормка яровой пшеницы проводилась в фазу начало выхода в трубку и фазу флагового листа.

Система защиты посевов яровой пшеницы от вредителей, болезней и сорняков включала в себя следующие мероприятия:

- в 2018 г. проводили обработку гербицидом Триммер (20 г/га) в фазу 2–3 настоящих листа и в фазу колошения инсектицидом Фаскорд (0,15 л/га), фунгицидом Колосаль Про (0,4 л/га).

- в 2019 г. в фазу 2–3 настоящих листа проводили обработку гербицидом Секатор Турбо (50 мл/га), в фазу кущения – фунгицидом Рекс Дуо (0,6 л/га), в фазу колошения – инсектицидом Фаскорд (0,15 л/га).

- в 2020 г. в фазу 2–3 настоящих листа проводили обработку гербицидом Секатор Турбо (50 мл/га), в фазу выхода в трубку – инсектицидом Фаскорд (0,1 л/га) и фунгицидом Импакт (0,5 л/га).

Уборку и учет урожая проводили селекционным комбайном «Wintersteiger Delta» поделяночно.

Статистическую обработку данных проводили методами дисперсионного анализа по Б. А. Доспехову [10] и М. Ф. Дембицкому [11].

За период проведения исследований погодные условия для выращивания яровой пшеницы отличались как температурой, так и количеством выпавших осадков. Вегетационный период 2018 г. по гидротермическим условиям характеризовался как избыточно увлажненный (ГТК – 1,5), большее количество осадков пришлось на июль. Гидротермические условия 2019 г. были наиболее оптимальными для роста яровой пшеницы (ГТК – 1,1), что в дальнейшем

повлияло на урожайность зерна. Погодные условия вегетационного периода 2020 г. характеризовались избыточным количеством влаги (ГТК – 2,0). В целом для роста и развития яровых зерновых культур погодные условия были благоприятными.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

Установлено, что фотосинтетическая деятельность растений, определяющая в итоге размеры урожая, зависит от площади фотосинтетически активных листьев, быстроты их нарастания и продолжительности работы ассимиляционного аппарата [12].

В период исследований в фазу кущения яровой пшеницы площадь листовой поверхности существенно не отличалась по вариантам опыта, кроме контрольного варианта, где она была наименьшей и составила 17,1 тыс. м<sup>2</sup>/га (табл. 1).

В фазу выхода в трубку минимальная площадь листовой поверхности была отмечена также в варианте без удобрений – 23,1 тыс. м<sup>2</sup>/га. В вариантах с применением минеральных удобрений в дозах N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> площадь листовой поверхности по сравнению с контролем возросла на 5,6 и 7,2 тыс. м<sup>2</sup>/га. В вариантах, где применялись Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном 1 площадь листовой поверхности возросла на 1,4–2,4 тыс. м<sup>2</sup>/га, а в варианте с применением регулятора роста Экосил – на 1,6 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Некорневая подкормка посевов микроудобрениями Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л на фоне 1 способствовала увеличению площади листовой поверхности на 0,9–1,3 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Таблица 1

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на площадь листовой поверхности растений яровой пшеницы сорта Бомбона (среднее, 2018–2020 гг.)**

Вариант	Площадь листовой поверхности, тыс. м <sup>2</sup> /га		
	кущение	выход в трубку	колошение
1. Контроль (без удобрений)	17,1	23,1	37,9
2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	20,7	28,7	43,7
3. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон 1	21,2	30,3	47,2
4. Фон 1 + Адоб Медь, 0,8 л/га	21,0	31,2	49,8
5. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	20,5	31,6	48,9
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 кг/га	22,4	32,4	47,6
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	22,9	31,7	46,7
8. Фон 1 + Адоб Профит, 2 + 2 кг/га	23,8	32,7	45,9
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	21,9	31,9	49,7
10. НРК с Си, Мп (0,788 кг) + N <sub>30</sub>	20,8	32,5	48,0
11. N <sub>60+30+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон 2	24,4	35,0	45,9
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	24,7	35,8	50,1
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 кг/га	23,9	35,4	47,2
НСР <sub>05</sub>	0,672	0,911	1,574

Внесение нового комплексного удобрения (NPK) с Cu и Mn по сравнению с вариантом 3, повышало площадь листовой поверхности яровой пшеницы в фазу выхода в трубку на 2,2 тыс. м<sup>2</sup>/га. Применение повышенных доз минеральных удобрений N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> по сравнению с контролем – на 11,9 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Максимальная площадь листовой поверхности в фазу выхода в трубку была отмечена в вариантах с применением МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне N<sub>60</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> + N<sub>30</sub> + N<sub>30</sub> и достигала 35,8 и 35,4 тыс. м<sup>2</sup>/га.

В фазу колошения площадь листовой поверхности по вариантам опыта колебалась от 37,9 тыс. м<sup>2</sup>/га до 50,1 тыс. м<sup>2</sup>/га. В неудобренном варианте отмечена наименьшая площадь листовой поверхности – 37,9 тыс. м<sup>2</sup>/га. В вариантах, где вносили минеральные удобрения в дозах N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>, площадь листовой поверхности значительно отличалась от контроля и возрастала до 43,7 и 47,2 тыс. м<sup>2</sup>/га.

В варианте, где применяли Нутривант плюс по сравнению с фоном 1, площадь листовой поверхности в фазу колошения возросла на 0,4 тыс. м<sup>2</sup>/га. В вариантах, где применялись Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном 1, площадь листовой поверхности уменьшилась на 0,5–1,3 тыс. м<sup>2</sup>/га. В вариантах, где применяли МикроСтим-Медь Л, Адоб Медь и регулятор роста Экосил по сравнению с тем же фоном 1 N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> площадь листьев увеличивалась на 1,7–2,6 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Применение нового комплексного удобрения (NPK) с Cu и Mn по сравнению с эквивалентной дозой минеральных удобрений (N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>) увеличило площадь поверхности листьев яровой пшеницы на 0,8 тыс. м<sup>2</sup>/га.

В варианте, где вносили минеральные удобрения в дозе N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> площадь листьев яровой пшеницы в фазу колошения по сравнению с контрольным вариантом возросла на 8 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Комплексное удобрение Нутривант плюс на фоне 2 способствовало увеличению площади листовой поверхности на 1,3 тыс. м<sup>2</sup>/га.

Максимальная площадь листовой поверхности была отмечена в варианте с применением микроудобрения МикроСтим-Медь Л на фоне 2 и достигла 50,1 тыс. м<sup>2</sup>/га.

При проведении анализа парной корреляционно-регрессионной зависимости урожайности зерна яровой пшеницы от площади листовой поверхности наблюдалась сильно выраженная прямая зависимость. Коэффициент корреляции в среднем за три года исследований у яровой пшеницы составил 0,90 с уравнением регрессии:  $Y = 0,92 \cdot X - 8,164$ .

Одним из важнейших показателей фотосинтетической деятельности является фотосинтетический потенциал (ФП), который определяется как сумма ежедневных показателей площади листьев на гектар посева [13].

У яровой пшеницы сорта Бомбона в межфазный период выход в трубку-колошение ФП был ниже в контрольном варианте, а в удобряемых вариантах он был примерно на одном уровне (табл. 2). В вариантах, где применяли минеральные удобрения в дозах N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> по сравнению с контролем ФП возрос на 0,08–0,12 млн. м<sup>2</sup> сут/га. При внесении удобрений Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном 1 ФП возрастал на 0,01–0,02 млн м<sup>2</sup> сут/га.

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на фотосинтетический потенциал, млн м<sup>2</sup> сут/га и чистую продуктивность фотосинтеза растений яровой пшеницы сорта Бомбона, г/м<sup>2</sup> сутки в среднем за 2018–2020 гг.**

Вариант	ФП, млн м <sup>2</sup> сут/га		ЧПФ, г/м <sup>2</sup> сутки	
	кущение–выход в трубку	выход в трубку–колошение	кущение–выход в трубку	выход в трубку–колошение
1. Контроль (без удобрений)	0,32	0,47	7,4	3,5
2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	0,39	0,55	8,4	3,4
3. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон 1	0,41	0,59	8,0	3,4
4. Фон 1 + Адоб Медь, 0,8 л/га	0,42	0,62	8,1	3,2
5. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	0,41	0,62	8,3	3,1
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 кг/га	0,44	0,61	8,0	3,0
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	0,44	0,60	8,1	3,0
8. Фон 1 + Адоб Профит, 2 + 2 кг/га	0,45	0,60	8,0	2,9
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	0,43	0,63	8,1	3,2
10. NPK с Cu, Mn (0,788 кг) + N <sub>30</sub>	0,43	0,62	8,5	3,0
11. N <sub>60+30+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон 2	0,47	0,62	7,8	2,9
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	0,48	0,66	7,7	2,7
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 кг/га	0,47	0,64	7,9	2,9

При использовании удобрений Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л, а также регулятора роста Экосил на том же фоне ФП возрос на 0,03–0,04 млн м<sup>2</sup> сут/га.

В варианте, где вносили комплексное удобрение (NPK) с Cu и Mn по сравнению с вариантом 3 ФП возрос на 0,03 млн м<sup>2</sup> сут/га.

В варианте, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> по сравнению с контрольным вариантом ФП вырос на 0,15 млн м<sup>2</sup> сут/га.

В вариантах, где применяли МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс на фоне с повышенным внесением минеральных удобрений ФП увеличился на 0,02–0,04 млн м<sup>2</sup> сут/га.

Максимальный ФП (0,64–0,66 млн м<sup>2</sup> сут/га) отмечен в вариантах с применением микроудобрения МикроСтим-Медь Л и комплексного удобрения Нутривант плюс на фоне 2, где и получена максимальная урожайность зерна пшеницы (табл. 4).

Проведенный анализ парной корреляционно-регрессионной зависимости урожайности зерна от фотосинтетического потенциала показал, что у яровой пшеницы сорта Бомбона между этими показателями наблюдается сильно выраженная прямая зависимость. Коэффициент корреляции в среднем за три года исследований у яровой пшеницы составил 0,89 с уравнением регрессии:  $Y = 0,168 + 0,007 \cdot X$ .

Чистая продуктивность фотосинтеза (ЧПФ) характеризует среднюю эффективность работы единицы листовой поверхности растений по накоплению сухой биомассы [13]. ЧПФ у яровой пшеницы сорта Бомбона в межфазный период выход в трубку–колошение существенно не различалась по вариантам опыта (табл. 2). ЧПФ самой высокой была в контрольном варианте и составила

3,5 г/м<sup>2</sup> сутки. В вариантах, где применялись минеральные удобрения в дозах N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> по сравнению с контролем ЧПФ уменьшилась на 0,1 г/м<sup>2</sup>. При внесении удобрений Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном 1 ЧПФ также уменьшилась на 0,4–0,5 г/м<sup>2</sup> сутки. При использовании удобрений Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л, а также регулятора роста Экосил по сравнению с фоном 1 ЧПФ уменьшилось на 0,2–0,3 г/м<sup>2</sup>.

В варианте, где вносили комплексное удобрение (NPK) с Cu и Mn по сравнению с вариантом 3 ЧПФ уменьшилась на 0,4 г/м<sup>2</sup> сутки.

В варианте, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> по сравнению с контрольным вариантом ЧПФ уменьшилась на 0,6 г/м<sup>2</sup>. В варианте с применением Нутривант плюс по сравнению с фоном 2 ЧПФ осталась на одном уровне – 2,9 г/м<sup>2</sup> сутки, а в варианте с применением МикроСтим-Медь Л уменьшилась на 0,2 г/м<sup>2</sup> сутки.

Проведенный анализ парной корреляционно-регрессионной зависимости урожайности зерна от чистой продуктивности фотосинтеза показал, что у яровой пшеницы сорта Бомбона между этими показателями наблюдается сильная прямая зависимость. Коэффициент корреляции в среднем за три года исследований у яровой пшеницы составил  $r = 0,79$  с уравнением регрессии:  $Y = 1,434 + 0,027 \cdot X$ .

Применение макро-, микроудобрений и регуляторов роста способствует значительному накоплению сухого вещества в растениях, что в свою очередь положительно влияет на формирование урожая.

В фазу кущения и выхода в трубку яровой пшеницы минимальное накопление сухого вещества было отмечено в контрольном варианте (табл. 3). Наибольшая масса растений в эти фазы была отмечена в вариантах с применением микроудобрения МикроСтим-Медь Л и комплексного удобрения Нутривант плюс на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub> и в фазу выхода в трубку достигла 490,0 и 492,5 г/100 сухих растений.

В фазу колошения наибольшая масса сухого вещества также была в варианте, где применяли Нутривант плюс и МикроСтим-Медь Л (668,7 и 663,9 г/100 растений). Наименьшая масса растений была в варианте без удобрений (461,0 г/100 растений). Остальные варианты отличались существенно только от контрольного.

В фазу молочно-восковой спелости масса растений пшеницы по вариантам опыта колебалась от 801,0 до 1495,2 г/100 растений. В неудобренном варианте отмечена минимальная масса сухого вещества (801,0 г/100 растений). В вариантах, где вносили минеральные удобрения в дозах N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> и N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> по сравнению с контролем масса сухого вещества увеличилась на 562,2–590,1 г/100 растений.

При внесении комплексных удобрений Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит по сравнению с фоном 1 масса сухих растений возросла на 43,3–69,8 г/100 растений. При внесении микроудобрений МикроСтим-Медь Л и Адоб Медь по сравнению с тем же фоном масса растений увеличилась на 10,7–11 г/100 растений.

Применение регулятора роста Экосил способствовало увеличению массы сухого вещества, которое по сравнению с фоном 1 возросло на 43,5 г/100 растений.

Внесение комплексного удобрения (NPK) с Cu и Mn по сравнению с эквивалентной дозой N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> способствовало увеличению массы сухого вещества растений яровой пшеницы на 50,9 г/100 растений (табл. 3).

В варианте 11, где вносили повышенные дозы минеральных удобрений, по сравнению с контрольным вариантом, масса сухого вещества возросла на 659,8 г/100 растений.

Таблица 3

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на динамику накопления сухого вещества растений яровой пшеницы сорта Бомбона в среднем за 2018–2020 гг.**

Вариант	Вес 100 сухих растений, г			
	кущение	выход в трубку	колошение	молочно-восковая спелость
1. Контроль (без удобрений)	63,1	297,4	461,0	801,0
2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	99,9	430,9	618,3	1363,2
3. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон 1	104,5	434,6	633,0	1391,1
4. Фон 1 + Адоб Медь, 0,8 л/га	104,5	441,8	640,7	1402,1
5. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	100,1	441,2	632,4	1401,8
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 кг/га	108,8	456,7	642,1	1438,7
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	108,4	462,4	641,0	1434,4
8. Фон 1 + Адоб Профит, 2 + 2 кг/га	117,3	478,8	651,9	1460,9
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	98,7	445,7	645,8	1434,6
10. NPK с Cu, Mn (0,788 кг) + N <sub>30</sub>	105,5	465,5	648,1	1442,0
11. N <sub>60+30+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон 2	121,0	487,3	662,1	1460,8
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	121,4	490,0	663,9	1488,3
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 кг/га	120,6	492,5	668,7	1495,2
НСР <sub>05</sub>	3,325	5,814	7,743	9,058

В вариантах, где применяли МикроСтим-Медь Л и Нутривант плюс по сравнению с фоном 2, масса сухого вещества в фазе молочно-восковой спелости возросла на 27,5–34,4 г/100 растений соответственно. В данном варианте отмечена максимальная масса сухих растений, что способствовало получению более высокой урожайности зерна яровой пшеницы (табл. 4).

Проведенный парный корреляционно-регрессионный анализ зависимости урожайности зерна от накопления сухого вещества показал следующее. Для яровой пшеницы сорта Бомбона характерна сильно выраженная прямая зависимость между данными признаками ( $r = 0,87$ ) с уравнением регрессии:  $Y = 22,6 \cdot X - 8,72$ .

В среднем за 2018–2020 гг. урожайность яровой пшеницы сорта Бомбона в варианте с применением N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> по отношению к контролю возросла на 9,6 ц/га, а окупаемость 1 кг NPK кг зерна составила 4,6 (табл. 4).

Применение азотной подкормки карбамидом N<sub>30</sub> в сочетании с N<sub>60</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> увеличило урожайность зерна на 14,1 ц/га по сравнению с вариантом без удобрений при окупаемости 1 кг NPK 5,9 кг зерна соответственно.

Среди комплексных удобрений для некорневых подкормок наиболее эффективным был Нутривант плюс. Адоб Профит и Кристалон были по действию равнозначны и несколько уступали Нутриванту.

Обработка посевов комплексным удобрением Нутривант плюс в фазе кущения на том же фоне дала прибавку урожайности зерна пшеницы сорта Бомбона 6,8 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 8,7 ц/га зерна.

Некорневая подкормка комплексными удобрениями Кристалон и Адоб Профит при двукратной обработке по сравнению с фоновым вариантом (N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>) увеличила урожайность зерна пшеницы на 4,4 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 7,7 кг зерна и 5,3 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 8,1 кг зерна соответственно.

Таблица 4

**Влияние макро-, микроудобрений и регуляторов роста на урожайность зерна яровой пшеницы сорта Бомбона**

Вариант	Урожайность, ц/га				Прибавка, ц/га			Окупаемость 1 кг NPK зерном, кг
	2018 г.	2019 г.	2020 г.	среднее	к контролю	к фону		
						1	2	
1. Контроль (без удобрений)	30,2	51,8	49,6	43,9	–	–	–	–
2. N <sub>60</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub>	38,2	62,9	59,5	53,5	9,6	–	–	4,6
3. N <sub>60+30</sub> P <sub>60</sub> K <sub>90</sub> – фон 1	40,4	69,7	64,0	58,0	14,1	–	–	5,9
4. Фон 1 + Адоб Медь, 0,8 л/га	43,9	75,1	68,1	62,3	18,4	4,3	–	7,7
5. Фон 1 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	44,9	76,9	69,5	63,8	19,9	5,8	–	8,3
6. Фон 1 + Нутривант плюс, 2 кг/га	45,9	77,9	70,8	64,8	20,9	6,8	–	8,7
7. Фон 1 + Кристалон особый, 2 кг/га + Кристалон коричневый, 2 кг/га	44,0	74,4	68,8	62,4	18,5	4,4	–	7,7
8. Фон 1 + Адоб Профит, 2 + 2 кг/га	43,9	77,3	68,7	63,3	19,4	5,3	–	8,1
9. Фон 1 + Экосил, 75 мл/га	43,9	74,0	67,3	61,7	17,8	3,7	–	7,4
10. NPK с Cu, Mn (0,788 кг) + N <sub>30</sub>	46,0	80,7	72,6	66,4	22,5	–	–	9,4
11. N <sub>60+30+30</sub> P <sub>70</sub> K <sub>120</sub> – фон 2	42,7	74,6	69,4	62,2	18,3	–	–	5,9
12. Фон 2 + МикроСтим-Медь Л, 0,7 л/га	48,9	82,9	77,4	69,7	25,8	–	7,5	8,3
13. Фон 2 + Нутривант плюс, 2 кг/га	48,8	83,2	78,8	70,3	26,4	–	8,1	8,5
НСР <sub>05</sub>	1,6	1,8	2,1	1,0	–	–	–	–

Обработка посевов комплексным удобрением Нутривант плюс на фоне повышенных доз минеральных удобрений в фазу начала выхода в трубку увеличила урожайность зерна пшеницы на 8,1 ц/га, а окупаемость 1 кг NPK составила 8,5 кг зерна. Применение на посевах яровой пшеницы сорта Бомбона регулятора роста Экосил на фоне 1 увеличило урожайность зерна на 3,7 ц/га, при этом окупаемость 1 кг NPK составила 7,4 кг зерна.

Действие микроудобрения белорусского производства МикроСтим-Медь Л на урожайность зерна яровой пшеницы не только не уступало, но и даже превосходило польское микроудобрение Адоб Медь и его можно рекомендовать для импортозамещения.

Некорневая подкормка пшеницы микроудобрениями Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л на фоне 1 в фазу начала выхода в трубку повышала урожайность зерна на 4,3 и 5,8 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 7,7 и 8,3 кг зерна.

Применение микроудобрения МикроСтим-Медь Л на фоне 2 увеличило урожайность зерна яровой пшеницы на 7,5 ц/га при окупаемости 1 кг NPK 8,3 кг зерна.

При использовании разработанного РУП «Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси» комплексного удобрения (NPK) марки 16-12-20 с 0,20 % Cu и 0,10 % Mn урожайность зерна пшеницы возросла на 8,4 ц/га по сравнению с вариантом 3. При этом окупаемость 1 кг NPK составила 9,4 кг.

Максимальная урожайность зерна яровой пшеницы (69,7 и 70,3 ц/га) получена при некорневой подкормке микроудобрением МикроСтим-Медь Л и комплексным удобрением Нутривант плюс на фоне 2.

Максимальная окупаемость 1 кг NPK кг зерна пшеницы отмечается в вариантах с использованием нового комплексного удобрения (NPK) с Cu и Mn и комплексного удобрения Нутривант плюс на фоне 1, которая составила 9,4 и 8,5 кг соответственно.

## ВЫВОДЫ

1. Применение макро-, микроудобрений и регуляторов роста положительно повлияло на продукционные процессы, а также урожайность яровой пшеницы сорта Бомбона, возделываемой на дерново-подзолистой легкосуглинистой почве. Максимальные значения площади листовой поверхности (50,1 тыс. м<sup>2</sup>/га) и фотосинтетического потенциала в период «выход в трубку-колошение» (0,66 млн м<sup>2</sup> сут/га) отмечены в варианте МикроСтим-Медь Л на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub>, чистая продуктивность фотосинтеза при этом составила 2,7 г/м<sup>2</sup> сутки соответственно. Максимальное значение динамики накопления сухого вещества (1495,2 г) отмечено в варианте Нутривант плюс на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub>.

2. Анализ парной корреляционно-регрессионной зависимости урожайности зерна от площади листовой поверхности, динамики накопления сухого вещества, фотосинтетического потенциала и чистой продуктивности фотосинтеза показал сильную прямую зависимость урожайности от этих показателей.

3. Некорневая подкормка пшеницы микроудобрениями Адоб Медь и МикроСтим-Медь Л на фоне N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> повышала урожайность зерна на 4,3 и 5,8 ц/га зерна. Обработка посевов комплексными удобрениями Нутривант плюс, Кристалон и Адоб Профит в фазе кущения на фоне N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub> дала прибавку урожайности зерна пшеницы сорта Бомбона 6,8 ц/га, 4,4 ц/га и 5,3 ц/га. Применение регулятора роста Экосил повышало урожайность зерна на 3,7 ц/га. Внесение нового комплексного удобрения для яровых зерновых культур (NPK) марки 16-12-20 с 0,20 % Cu и 0,10 % Mn в дозе, эквивалентной N<sub>60+30</sub>P<sub>60</sub>K<sub>90</sub>, увеличило урожайность пшеницы на 8,4 ц/га.

5. Наиболее высокая урожайность зерна яровой пшеницы (69,7 и 70,3 ц/га) получена при некорневой подкормке микроудобрением МикроСтим-Медь Л и комплексным удобрением Нутривант плюс на фоне N<sub>60+30+30</sub>P<sub>70</sub>K<sub>120</sub>.

6. Максимальная окупаемость 1 кг NPK кг зерна пшеницы отмечена в вариантах с использованием нового комплексного удобрения (NPK) марки 16-12-20 с 0,20 %

Су и 0,10 Мп и комплексного удобрения Нутривант плюс на фоне  $N_{60+30+30}P_{70}K_{120}$ , которая составила 9,4 и 8,5 кг соответственно.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Технология формирования высокопродуктивных и устойчивых смешанных посевов на основе оптимизации минерального питания: рекомендации / Т. Ф. Персикова [и др.] – Горки: БГСХА, 2010. – 32 с.
2. Алексеев, В. Н. Возделывание яровой пшеницы в Беларуси / В. Н. Алексеев, П. В. Бородин, Н. В. Клебанович // Современные технологии сельскохозяйственного производства: материалы XIV Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 27 апреля, 18 мая 2012: в 2 ч. / ГГАУ. – Гродно, 2012. – С. 3–5.
3. Анспок, П. И. Микроудобрения: справочная книга / П. И. Анспок. – Л.: Колос. Ленингр. отд-ние, 1978. – 272 с.
4. Ничипорович, А. А. Фотосинтетическая деятельность растений и пути повышения их продуктивности / А. А. Ничипорович // Теоретические основы фотосинтетической продуктивности. – М.: Наука, 1972. – 527 с.
5. Кумаков, В. А. Физиология яровой пшеницы / В. А. Кумаков. – М.: Колос, 1980. – 207 с.
6. Ничипорович, А. А. Методические указания по учету и контролю важнейших показателей процессов фотосинтетической деятельности растений в посевах / А. А. Ничипорович, З. Е. Кузьмин, Л. Я. Полозова. – М.: ВАСХНИЛ, 1969. – 93 с.
7. Карпова, Л. В. Эффективность применения комплексных жидких удобрений в хелатной форме на фоне естественного и минерального питания растений яровой пшеницы / Л. В. Карпова, Г. А. Карпова, А. В. Строгонова // Нива Поволжья. – 2020. – № 4 (57). – С. 51–57.
8. Карпова, Г. А. Оптимизация продукционного процесса агроценозов яровой пшеницы и ячменя при использовании регуляторов роста / Г. А. Карпова, М. Е. Миронова // Нива Поволжья. 2009. – № 1 (10). – С. 8–13.
9. Организационно-технологические нормативы возделывания зерновых, зернобобовых, крупяных культур: сб. отраслевых регламентов / Нац. акад. наук Беларуси, НПЦ НАН Беларуси по земледелию; рук. разработ.: Ф. И. Привалов [и др.]. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 288 с.
10. Доспехов, Б. А. Методика полевого опыта: (С основами статистической обработки результатов исследований) / Б. А. Доспехов. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1979. – 416 с.
11. Дзямбіцкі, М. Ф. Асаблівасці дысперсійнага аналізу вынікаў шматгадовага палявога доследу / М. Ф. Дзямбіцкі // Весці Акадэміі аграрных навук Беларусі. – 1994. – № 3 – С. 60–64.
12. Ахмедова, П. М. Площадь листовой поверхности и продуктивность фотосинтеза у скороспелых сортов томата / П. М. Ахмедова // Овощи России. – 2013. – № 4 (21). – С. 54–57.
13. Оптимизация минерального питания зерновых культур на основе регулирования интенсивности продукционных процессов: рекомендации / Институт почвоведения и агрохимии НАН Беларуси. – Минск, 2006. – 12 с.

## **INFLUENCE OF MACRO-, MICRO-FERTILIZERS AND GROWTH REGULATORS ON PRODUCTION PROCESSES AND YIELD OF SPRING WHEAT ON SOD-PODZOLIC LIGHT-LOAMY SOIL**

**I. R. Vildflush, G. V. Pirogovskaya, A. A. Kuleshova**

### **Summary**

The positive effect of complex fertilizers, microfertilizers, growth regulators and complex microfertilizers with growth regulators on the dynamics of biomass accumulation, leaf area, photosynthetic activity and yield of spring wheat has been established. The maximum leaf surface area was noted in the variant with the use of MicroStim-Copper L against the background of  $N_{60+30+30}P_{70}P_{120}$  – 50,1 thousand  $m^2/ha$ , and the greatest accumulation of dry matter (1488,3 and 1495,2 g/100 plants) was in variants with the introduction of MicroStim-Copper L and Nutrivant plus against the background of  $N_{60+30+30}P_{70}P_{120}$ . The values of photosynthetic potential and net productivity were 0,66–0,64 million  $m^2$  day/ha and 2,7–2,9  $g/m^2$  day.

Foliar feeding of wheat with micronutrient fertilizers Adob Copper and MicroStim-Copper L against the background of  $N_{60+30}P_{60}P_{90}$  increased grain yield by 4,3 and 5,8 c/ha of grain. Treatment of crops with complex fertilizers Nutrivant plus, Crystalon and Adobe Profit in the tillering phase against the background of  $N_{60+30}P_{60}P_{90}$  gave an increase in the yield of wheat grain of the Bombona variety 6,8, 4,4 and 5,3 c/ha.

The use of a new complex fertilizer for spring grain crops NPP grade 16-12-20 with 0,20 % Cu and 0,10 % Mn compared to the variant where used urea, ammoniated superphosphate and potassium chloride were used in an equivalent dose ( $N_{60+30}P_{60}P_{90}$ ), increased wheat yield by 8,4 c/ha.

The highest yield of spring wheat grain (69,7 and 70,3 c/ha) was obtained with foliar feeding with MicroStim-Copper L micronutrient fertilizer and Nutrivant plus complex fertilizer against the background of  $N_{60+30+30}P_{70}P_{120}$ .

*Поступила 10.11.21*

УДК: 631.438:631.83

## **ВЛИЯНИЕ КАЛИЙНЫХ УДОБРЕНИЙ И ОБЕСПЕЧЕННОСТИ ПОЧВЫ ПОДВИЖНЫМ КАЛИЕМ НА НАКОПЛЕНИЕ $^{137}Cs$ ЗЕРНОФУРАЖНЫМИ КУЛЬТУРАМИ**

**Ю. В. Путятин**

*Институт почвоведения и агрохимии,  
г. Минск, Беларусь*

### **ВВЕДЕНИЕ**

Кормопроизводство, кормовая база являются основой устойчивого развития сельскохозяйственного производства. Только создание эффективной системы кормопроизводства позволяет реализовать генетический потенциал породистого